

2009年度 修士論文

不安定な特性を持つ靴の長期着用時の自然立位姿勢時
の身体動揺と筋活動の変化

Long-term Change of Postural Sway and EMG Activity
During Quiet Standing with Using Unstable Shoes

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域

5008A007-0

岩田 晴夫

Iwata, Haruo

研究指導教員： 彼末 一之 教授

【目次】

【緒言】 p. 1

【方法】 p. 3

- 1 . 被験者
- 2 . 被験者の選抜
- 3 . 測定機器
- 4 . 測定条件
- 5 . 測定プロトコール
- 6 . 教示内容
- 7 . 解析
- 8 . 統計処理

【結果】 p. 9

- 1 . XY 平面上の頭頂部動揺
- 2 . Z 軸上における頭頂部軌跡
- 3 . 足関節の動揺
- 4 . 表面筋電図

【考察】 p. 31

- 1 . XY 平面上の頭頂部動揺
- 2 . Z 軸上における頭頂部軌跡
- 3 . 足関節の動揺
- 4 . 表面筋電図
- 5 . 総合論議

【結語】 p. 35

【参考文献】 p. 36

【謝辞】 p. 37

巻末資料 被験者教示資料

【緒言】

ヒトが立位姿勢を保持しているとき、突然に床面が水平移動したり、あるいは肩甲骨帯や骨盤帯を押されると、重心線は安定性限界を超えてしまう。そのとき、立位姿勢を保持するのに、いろいろな調節機構が関与して、体位と構えを取り戻す。このような調節を研究する実験条件下で、被験者がプラットフォームの上で立位姿勢を保持しているとき、プラットフォームを前後方向に動かしたり、傾けたりすると下肢関節に応答運動が起こる。この運動は定型的であり、運動の大きさに応じて関節運動も変動する。プラットフォームが前後方向に動く場合には、膝関節には運動がなく、足関節あるいは股関節に屈伸運動が起こる。そのさい、下腿三頭筋とハムストリングス、前脛骨筋と大腿四頭筋がそれぞれ共同筋となって活動する (Nashner et al., 1982)。足関節の運動によって重心を支持基底内にとどめる運動を足関節戦略 (ankle strategy)、股関節の運動によるものを股関節戦略 (hip strategy)、さらに片足を踏み出す運動によるものを足踏み戦略 (stepping strategy) と呼んでいる (Shumway-Cook A et al., 1995)。

ヒトは文明の発展とともに靴という道具を使うようになり、素足での生活とは違う姿勢となった。また柔らかい不安定な地面からコンクリートなどの硬い平らな地面へと変化したことで、足関節の筋肉が非活性となり萎縮し、足部に形態的变化が起こってきたといわれている (Nigg et al., 2006)。

一方、現代人の多くは日常生活を送る中で腰痛や膝痛などの様々な運動器障害に悩まされている。ところが、アフリカのマサイの人々には普段生活している中で腰痛や膝痛を発症させることはまずないといわれている。その要因の一つとして、それぞれの住む環境の違いが考えられる。先進国における現代人は、硬いアスファルトの路面 (= 安定で均一) の上を踵が付いて高くなった靴を履いて生活を送る。一方、マサイの人々は大小の起伏に富み時には脆弱な大地 (= 不安定で多様性に富む) の上を裸足で常に身体のバランスをとりながら生活している。そこで、マサイの人々が生活しているような環境を現代の硬く平らな地面の上に再現すればよいということになる (MBT 開発資料より)。

このような発想の基に開発されたのが本研究で着目する Masai Barefoot Technology の提唱する靴 (MBT-shoes、図 1) である。つまり、近代化された社会で硬く平らで不自然な地表を歩くときにもフットウェア技術により、柔軟な地面の「自然な不安定性さ」を実現しようとするもので、「自然のままの柔らかく、凸凹した地面を裸足で歩くような動きをすることにより、たとえ通常の靴を履いて硬く平らな地

面を歩くことで筋肉が萎縮してしまっても、再度、それを活性化できる」という Karl Muller の理論が基礎になっている。



図 1 MBT shoes

普通の靴は安定性を求めた靴がほとんどであるが、MBT は反対に柔軟な地面の「自然な不安定さ」をコンセプトに開発された。通常の靴にはない MBT の「丸いソール(靴底)」が、舗装路面でも足部に自然な不安定さを生み出す。

先行研究によればこの靴を使用することで足底圧分布が均等化され、扁平足や加齢による退化などの足部変化の抑制、足底筋膜炎の予防が可能である (L. Stewart et al., 2007)。足関節での運動学的変化および内側腓腹筋、前脛骨筋の筋活動増加は、これらの筋の共同収縮による足部の安定性をもたらす。また、下腿筋力を強化するトレーニング手段としても有効ことが示されている (J. Romkes et al., 2006)。

しかし、先行研究で歩行の解析が主で静止立位ではあまり行われていない。そこで本研究では MBT-shoes の 3 ヶ月間の着用による静止立位時の頭頂動揺、下肢筋活動および足関節運動に着目して変化を観察した。

【方法】

1. 被験者

被験者は健常な成人 14 名（男性 7 名、女性 7 名）を対象とした（表 1）。被験者には 3 ヶ月間、日常生活で MBT-shoes の定期的な着用を行うよう指示し、使用記録を記録用紙を用いて自己記入させた。

	mean ± SD		
被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
男性	25±4	171.1±6.7	69.1±9.3
女性	24±3	159.2±4.5	54.2±5.0

表 1 被験者

2. 被験者の選抜

3 ヶ月間の使用記録を基にデータ解析を行う被験者の選抜を行った。使用記録には着用日、着用時間、意識レベルを記入させた。1 週間ごとにその着用時間を着用日数で正規化し 1 日 4 時間以上の定期的な着用がみられた被験者のデータを解析に用いた (N=9、男性 4 名、女性 5 名)。これに充たない被験者は除外した (N=4)。また、3 ヶ月間のなかで MBT shoes 着用時に不快感・痛みが改善されずにいた被験者も除外した (N=1)。

3. 測定機器

3 - 1 姿勢観察

早稲田大学所沢キャンパス フロンティアリサーチセンター内にある動作解析室の三次元動作解析装置 (Motion Analysis EVaRT 5.0: キッセイコムテック社製) を用いて身体の反射マーカークからの位置情報による静止立位姿勢を観察した。サンプリング周波数は 60Hz とした。反射マーカークはヘレンズマーカークセットを基に計 27 箇所貼付した (図 2)。

- 前頭部
- 頭頂部
- 後頭部
- 第7頸椎
- 上前腸骨棘（左右）
- 仙骨
- 肩峰（左右）
- 上腕骨外側上顆（左右）
- 遠位橈尺関節（左右）
- 大転子（左右）
- 大腿骨外側上顆（左右）
- 外果（左右）
- 内果（左右）
- 第2中足骨頭（左右）
- 第5中足骨底（左右）
- 踵骨隆起（左右）

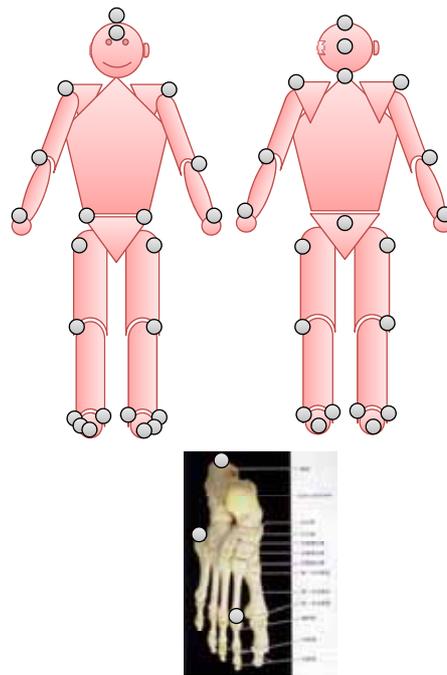


図2 反射マーカ－貼付箇所（計27箇所）

3 - 2 筋電図

表面筋電図は表面電極（日本光電：デイスポ電極 F-150S）のアナログ出力情報を筋電計（フルサワラボ社製）を介して PowerLab に入力し計測した。波形解析ソフト Chart5.0 を用いた。サンプリング周波数は 1000Hz とした。貼付部位は大腿直筋 (RF)、内側広筋 (VM)、大腿二頭筋 (BF)、前脛骨筋 (TA)、長腓骨筋 (PL)、腓腹筋内側頭 (GM)、腓腹筋外側頭 (GL)、ヒラメ筋 (SOL) の計 8 箇所とした (図 3)。

- 大腿直筋
- 内側広筋
- 大腿二頭筋
- 前脛骨筋
- 長腓骨筋
- 腓腹筋内側頭
- 腓腹筋外側頭
- ヒラメ筋

『カラー人体解剖学より』

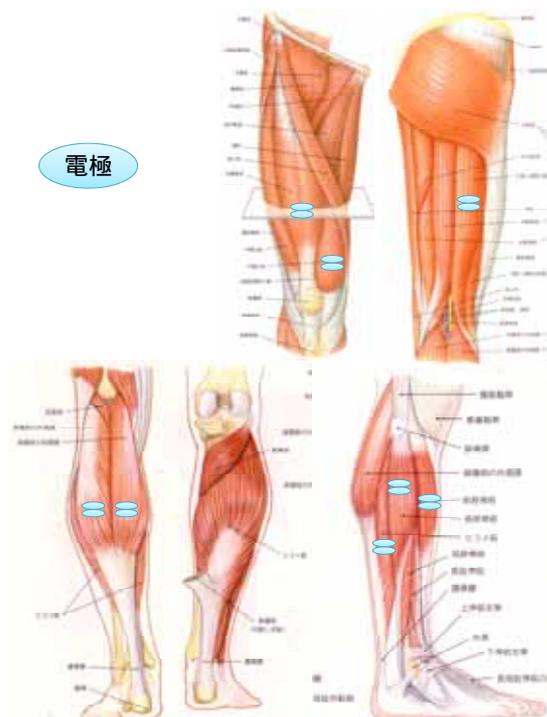


図3 表面筋電図 貼付筋肉（8箇所）

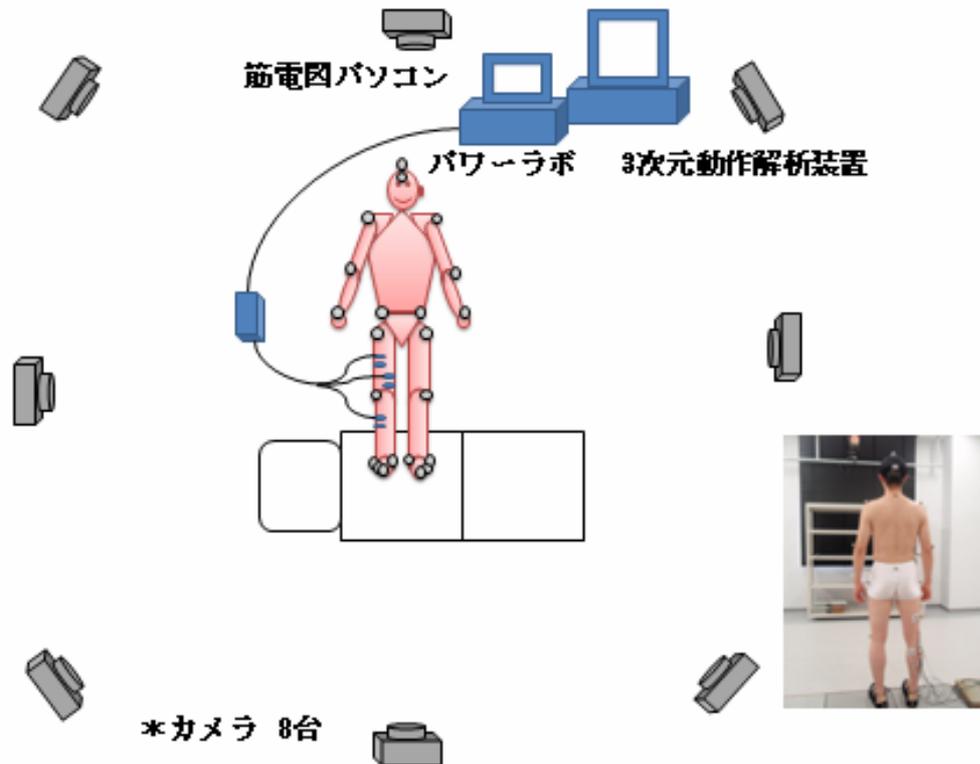


図4 全体の実験装置の略図

4. 測定条件

測定条件は素足（barefoot）、普段靴（shoes）、MBT-shoesとした。MBT-shoesはその着用に際し販売元のエバニューのスタッフによる着用の注意点を教示された。教示内容は後述参照。この教示前（MBTpre）および後（MBTpost）において測定を行った。

以上4条件で両上肢を自然下垂させ注視点を設けない自然立位とした。

5. 測定プロトコール

1分間の立位姿勢維持を1試行とし、1条件につき、それぞれ7試行ずつ行った。また、1試行1分間のうち、最初の30秒は開眼状態とし、後半の30秒を閉眼状態とした。開眼状態での目線は真っ直ぐ前方を見てもらうが、特に注視点は設けなかった。30秒経過の3秒前からカウントをし、30秒経過と同時に声で合図を出して眼を閉じてもらった。

測定の流れはbarefoot、shoes、MBT-preの順番にそれぞれ7試行ずつ実施した。その後、被験者は一旦、MBT着用に関する十分な教示をおよそ30分程度受けた。教示とはMBTを正しく使用するための立ち方、歩き方の指導であり、MBT販売元である

(株)EVERNEW のトレーナーが行った。教示のポイントを次項にまとめた。

教示を受けた後で、再度、MBTを着用した状態で7試行の測定を実施した(MBT-post)。測定終了後に、表面電極の貼付部位8箇所の随意性最大筋力(MVC)を測定した。

MBT長期着用の効果・影響を観察するために初期段階(以下0ヶ月)から3ヶ月間、同様の実験を1ヶ月ごとに実施した。

6. 教示内容

足の外側中央部にある第5中足骨底(以下バディス)をしっかりと意識する。MBTでは土踏まず側や拇指球側ではなく、着用時はバディス下に荷重をしている感覚が大切である。

足は平行にして、腰幅程度に開いて立つ。

膝は軽くリラックス(脱力)させる(膝に負担がかかるため、膝を突っ張らないようにすること)。

股関節を外旋させる。MBTの中で自分の足の土踏まず側が高くなり、足裏の外側部(踵~バディス~小指の付根)が中敷きと触れている感覚を意識する。

おへそを引き上げるようにして骨盤を立てる。

肩を前から後ろへ回し、肩甲骨を背中側で引き寄せた状態で、肩の力を抜く。胸の前側が開き、上体が高くなる(MBTを着用している時はまっすぐ前を向くこと)。

前後に揺れる。その時のポイントは足裏の踵の真下から外側部(バディス)を通過して小指の付根に荷重移動している(地面をなぞっている)感覚である。

さらに、前側へ揺れる時はMBTの中で足指を開く(足指を開くと自然に土踏まず側が高くなり、足裏の外側に荷重しやすくなる)。

前後の揺れ幅を徐々に小さくする。そして、最も揺れる部分を探す(ちょうどバディスの下の位置)。

その最も揺れる部分(バディス)を、その場で交互に踏みしめる。その時、足指はしっかり開くようにする。左右の骨盤が上下に動き出す。

狭い歩幅でゆっくりと歩き始める。狭い歩幅なので最も揺れる部分(バディス)を左右交互に踏みしめながら歩く。

慣れてきたら徐々に歩くスピードを上げる。すると、だんだん踵の真中あたりから接地して、足裏の外側部(バディス)を通過して小指の付根が地面と触れるようになる。

7. 解析

本研究では開眼状態を解析対象とした。解析区間は初期動作を考慮し前後 5 秒間を除いた 20 秒間を解析対象とした。

7 - 1 三次元動作解析

解析はソフトウェア Motion Analysis EVaRT5.0 (キッセイコムテック社製) でマーカーの欠損箇所を補正した後、各点の位置情報を数値化し Microsoft Excel (Excel) で解析した (図 5)。本研究では、頭頂部の移動軌跡を身体動揺とした。総軌跡長は三次元動作解析装置から出された位置情報よりその長さを算出した。X を X 方向成分の変化量、 ΔY を Y 方向成分、 ΔZ を Z 方向成分の変化量とした。XY 平面上での軌跡長の算出は ΔX と ΔY の 2 乗を加算したものを平方根で返した値を ΔXY とした。 ΔXY の絶対値を 20 秒間加算した値を総軌跡長とした (図 6)。Z 軸での軌跡は ΔZ の絶対値を 20 秒間加算した値を総軌跡長とした。足関節の動きの変化量は三次元動作解析上で 3 点のマーカー (膝、外果、爪先) より算出した角度を用いた。変化量を絶対値で返し 20 秒間加算させた値を総変化量とした (図 7)。

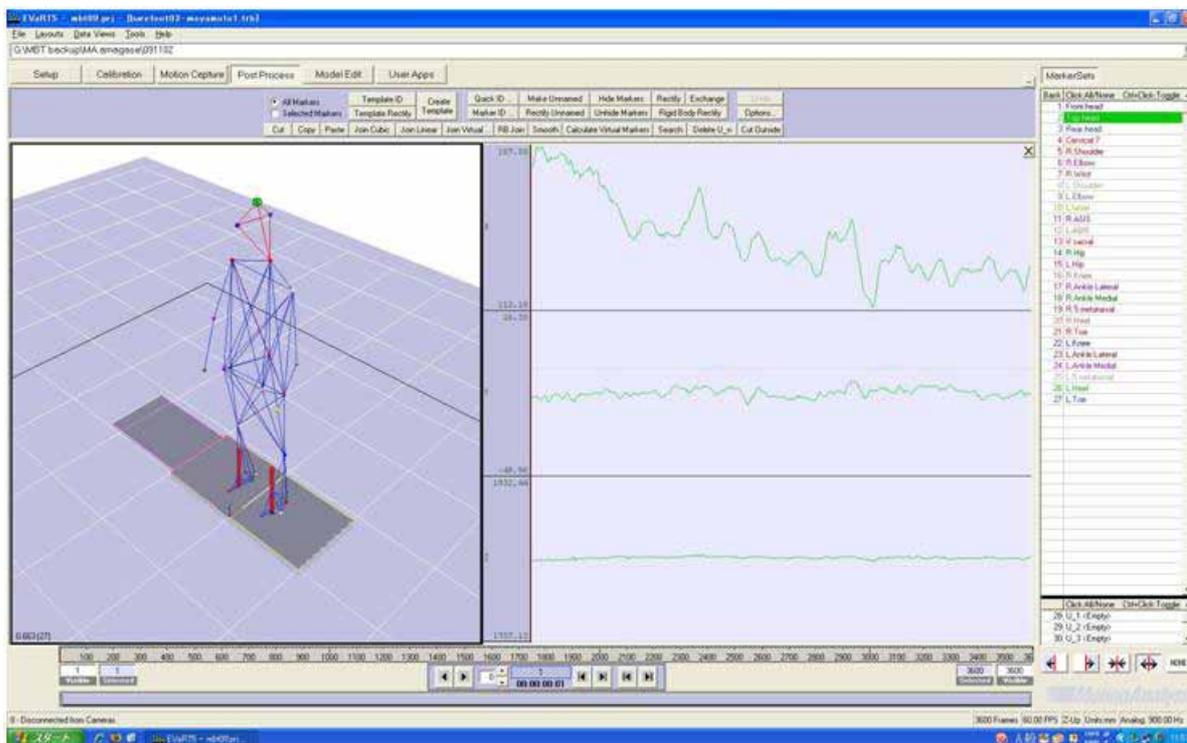


図 5 Motion Analysis EVaRT5.0 での解析映像

上段 : X 軸 中段 : Y 軸 下段 : Z 軸

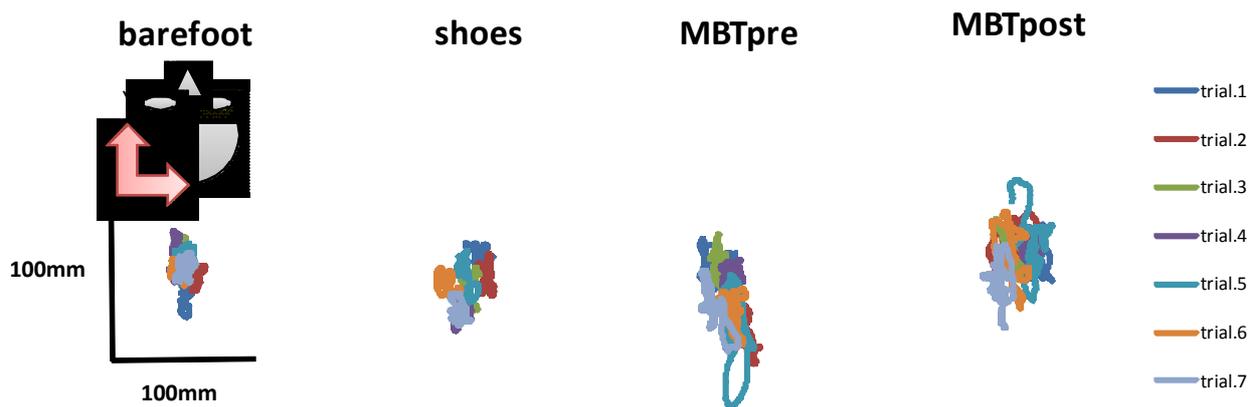


図 6 XY 平面上の頭頂部の軌跡一例

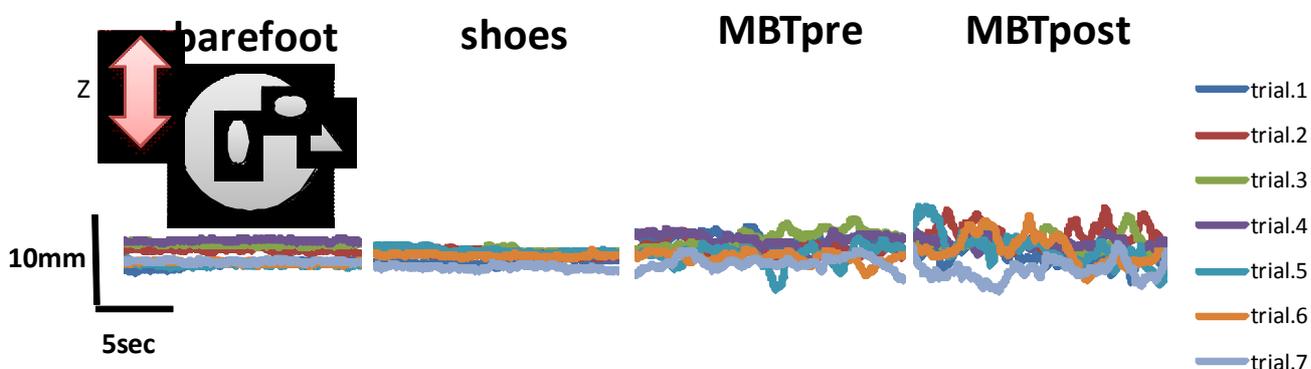


図 7 Z 軸上の頭頂部の軌跡一例

7 - 2 表面筋電図

表面筋電図は 5Hz のハイパスフィルターを通した生波形を全波整流し 20 秒間の RMS を算出した。7 試行の RMS 値を平均化したものを 100%MVC で正規化した値を用いた (図 8)。

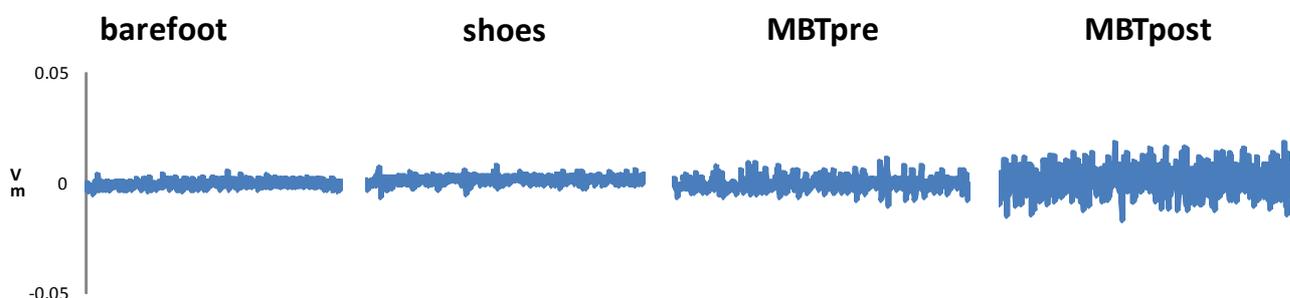


図 8 表面筋電図生波形

8 . 統計処理

統計処理は経時変化を要因 (0, 1, 2, 3 month) とした一元配置分散分析を行い、Dunnett の多重比較検定を行った。有意水準は $P < 0.05$ とした。

【結果】

1. XY平面上の頭頂部動揺

XY平面上における20秒間の頭頂部の総軌跡長(全7試行)の一例を示した(図9-1)。まず、0 monthに着目するとbarefootに比しMBT shoes着用における前後方向への動揺が増加した。さらにbarefootにおいて0 monthと2、3 monthの間に前後方向への動揺の増加がみられた。MBTpreにおいては測定ごとに動揺が前後左右に増加している。MBTpostにおいてはMBTpre同様に動揺を示しているがその範囲はMBTpreのそれより狭くなっている。

図9-2に頭頂部の総軌跡長(全7試行)の平均値を被験者毎に示した。Barefoot, shoes, MBTpre, MBTpost いずれにおいても総軌跡長は増加傾向を示した。これを定量的に検討するために、図9-3にXY平面上における頭頂部の総軌跡長の全体平均を示した。Dunnett-t 検定の結果、barefoot においては0-2 month($P < 0.01$)、0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。shoes においては0-2 month($P < 0.01$)、0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。MBTpre においては0-2 month($P < 0.05$)、0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。MBTpost においては0-2 month($P < 0.05$)で有意差を示した。

2. Z軸上における頭頂部軌跡

頭頂部のZ軸上における動揺の軌跡が図10-1である。これは図9-1と同一被験者についてのデータである。MBTpre において0, 1, 2, 3 monthの経時変化とともに動揺の増加がみられる。MBTpost においては0, 1, 2 monthはMBTpreと同様の動揺の増加がみられるが、3 monthでは小刻みな動揺をみせた。Barefoot, shoesではMBTに比べ動揺は小さい。しかし、経時的にはBarefoot, shoesでも動揺は増加しているのが頭頂部の総動揺(全7試行)の平均値を被験者ごとに示した図10-2で見とれる。いずれにおいてもZ軸上における頭頂部の総軌跡長の全体平均を示した(図10-3)。Dunnett-t 検定の結果、barefoot においては0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。shoes においては0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。MBTpre においては0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。MBTpost においては0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。

3. 足関節の動揺

図 1 1 - 1 に 1 人の被験者の足関節動揺を示す。足関節動揺も頭頂部動揺と同様に Barefoot, shoes に比べ、MBT 着用時には大きくなっている。さらにその動きは着用期間につれて変化している。つまり MBTpre において 0 month では底背屈の動きがあるがその動きは不規則である。以後 1, 2, 3 month に伴い徐々に規則的に動くようになっている。MBTpost においては経時に伴い細かく振幅させるような足関節の動きが表れている。頭頂部の総軌跡長(全 7 試行)の平均値を被験者ごとに示した(図 1 1 - 2)。Barefoot, shoes, MBTpre, MBTpost いずれにおいても総変化量は増加傾向を示している。足関節の動きの総変化量の全体平均を示した(図 1 1 - 3)。Dunnnett-t 検定の結果、barefoot においては 0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。shoes においては 0-2 month($P < 0.01$)、0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。MBTpre においては 0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。MBTpost においては 0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示した。

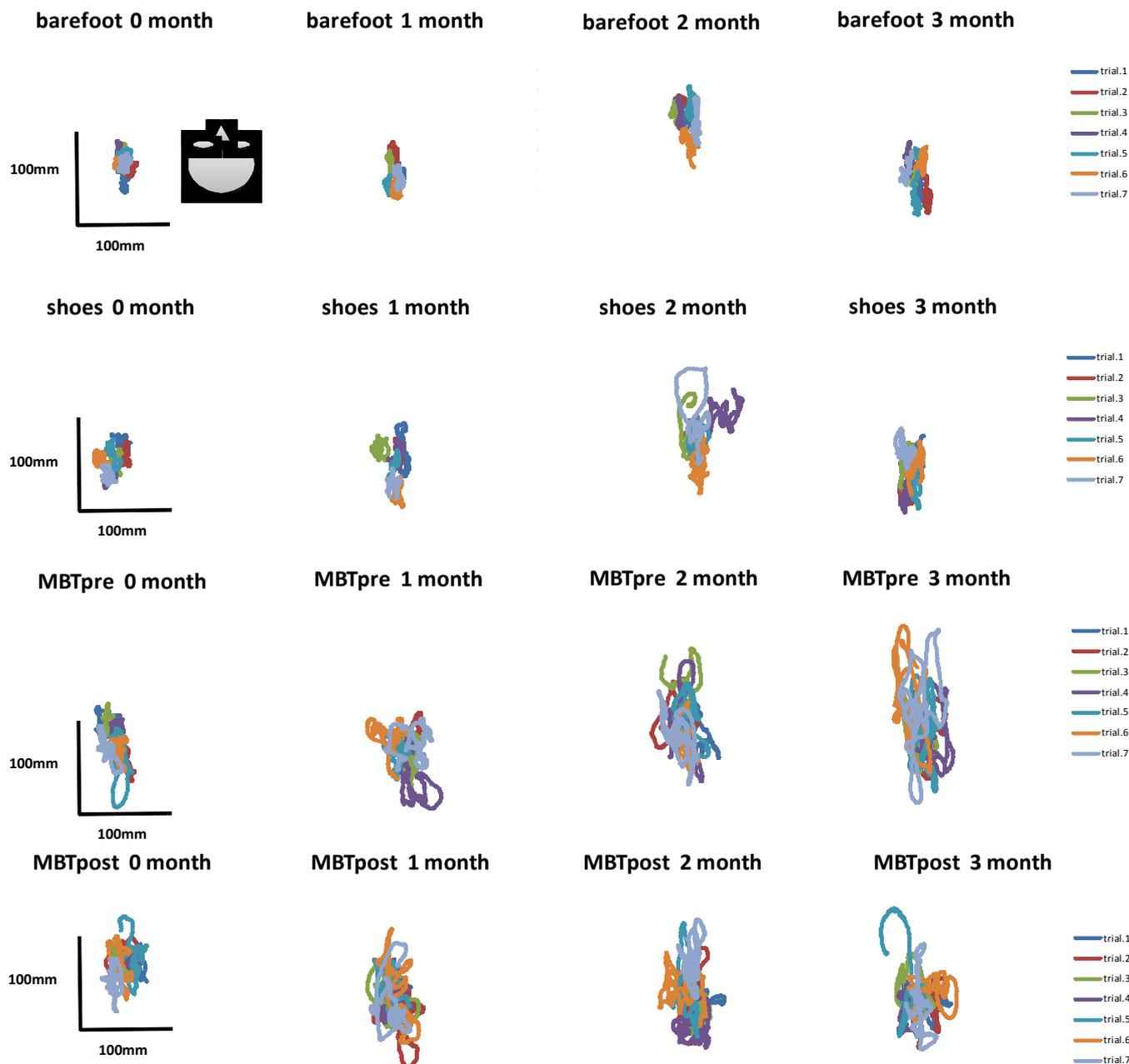


図 9 - 1 頭頂部 X Y 平面上の軌跡の一例 (同一被験者)

barefoot : 素足

shoes : 普段靴

MBTpre : MBT shoes 着用教示前

MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

異なる色はそれぞれ 1 試行 (20sec) を表す。

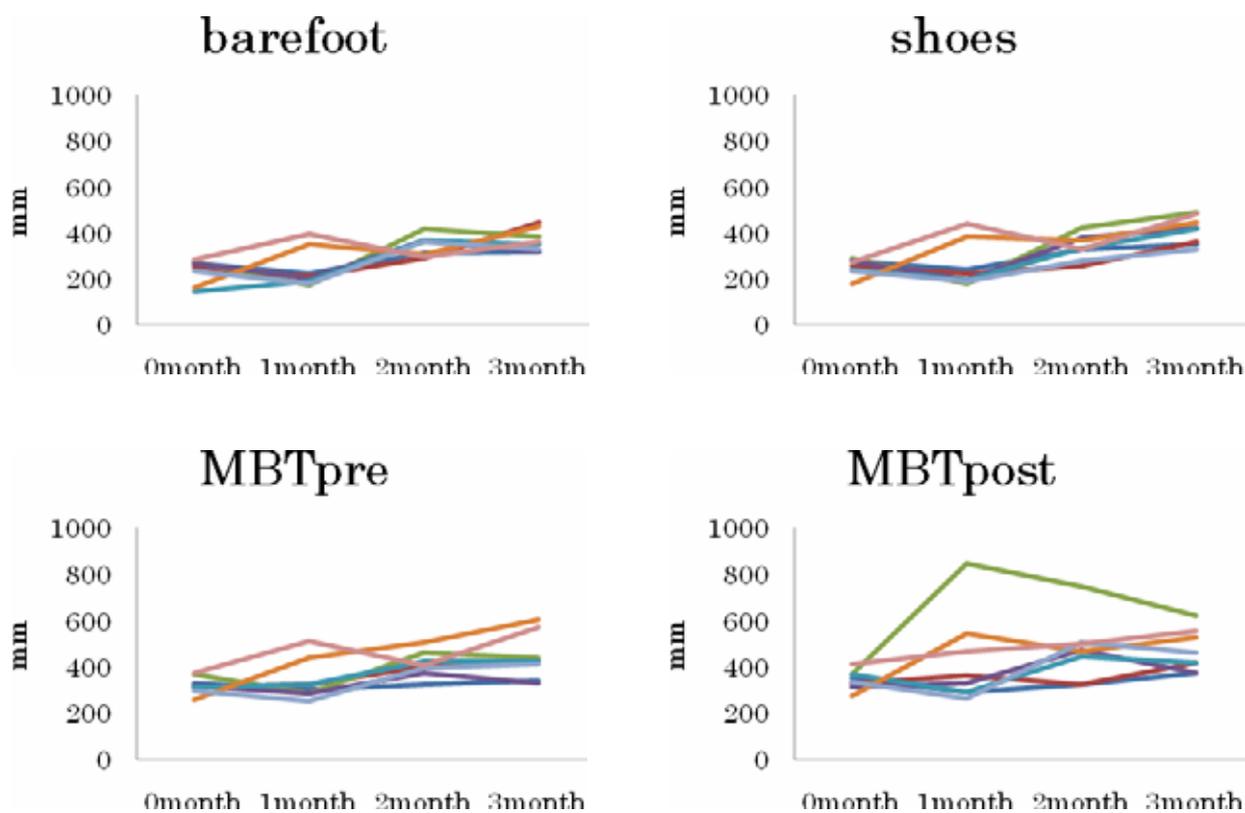


図 9 - 2 頭頂部 X Y 平面上の総軌跡長の経時変化

barefoot : 素足

shoes : 普段靴

MBTpre : MBT shoes 着用教示前

MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

異なる色はそれぞれ 1 被験者の平均値 (7 試行) を表す。

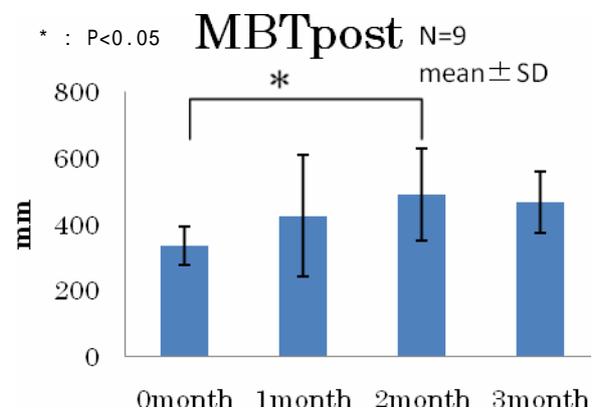
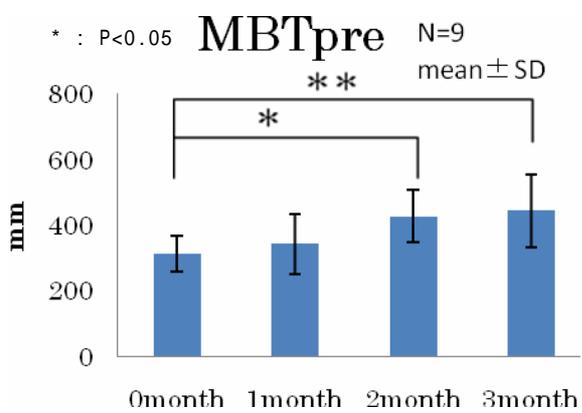
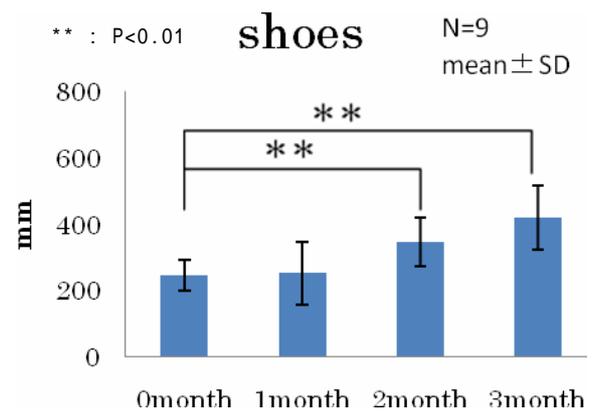
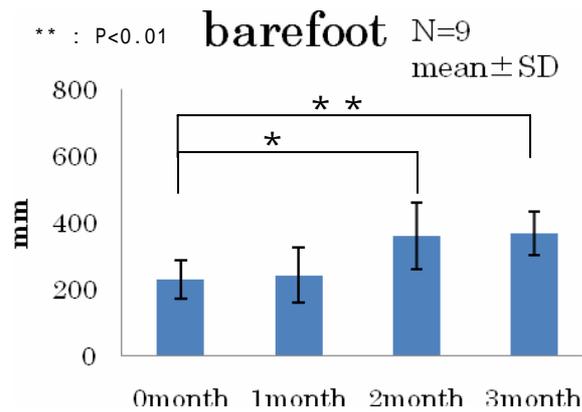


図 9 - 3 頭頂部 X Y 平面上の総軌跡長の全体平均 (N = 9)

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

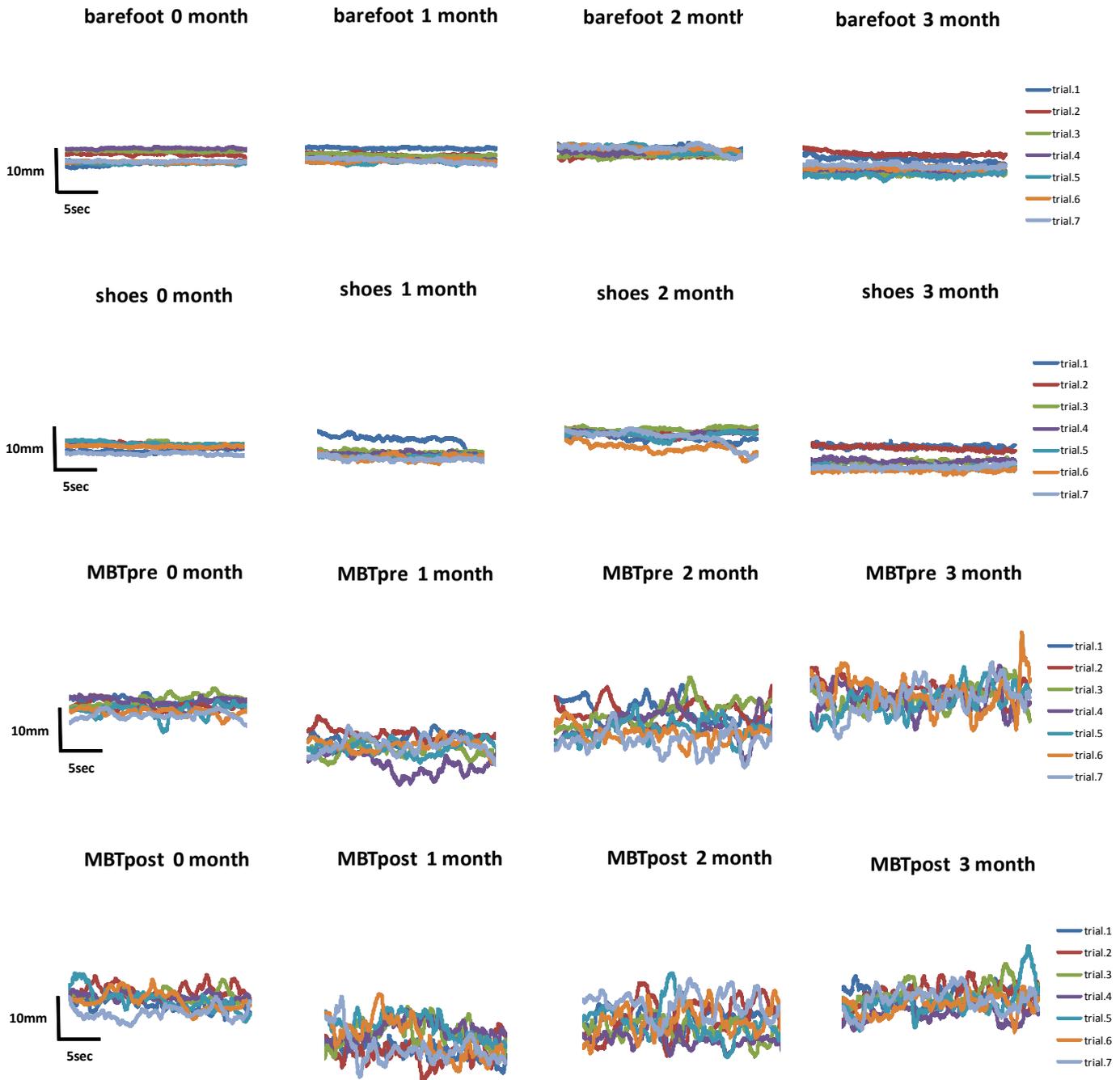


図 1 0 - 1 頭頂部 Z 軸上の軌跡の一例 (同一被験者)

barefoot : 素足

shoes : 普段靴

MBTpre : MBT shoes 着用教示前

MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

異なる色はそれぞれ 1 試行 (20sec) を表す。

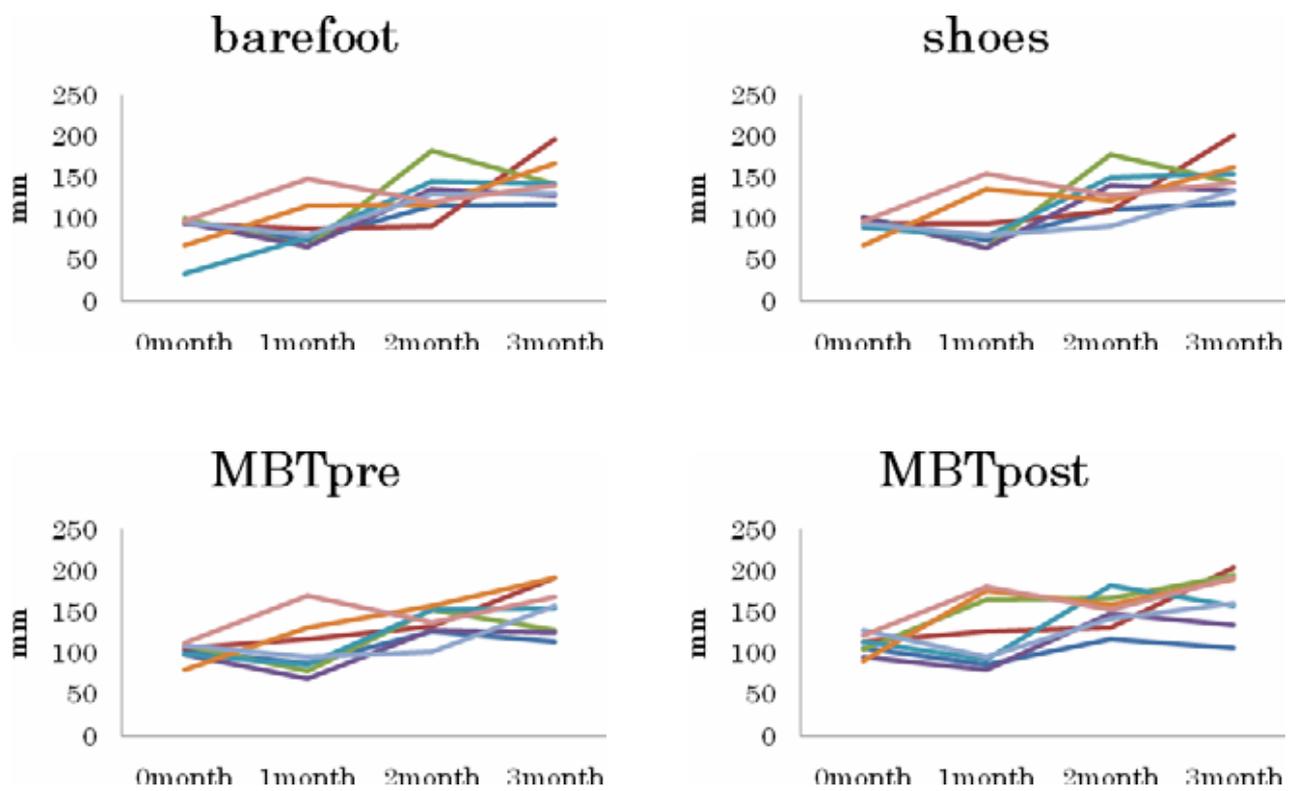


図 1 0 - 2 頭頂部 Z 軸上の総軌跡長の経時変化

barefoot : 素足

shoes : 普段靴

MBTpre : MBT shoes 着用教示前

MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

異なる色はそれぞれ 1 被験者の平均値 (7 試行) を表す。

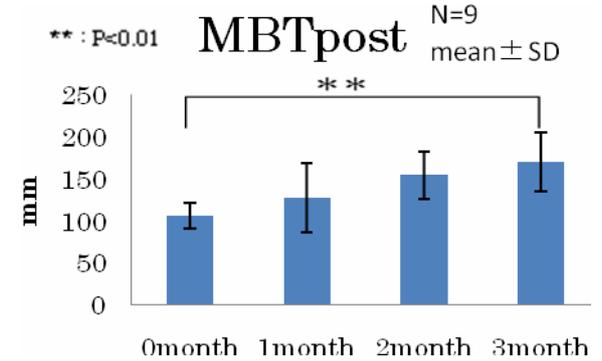
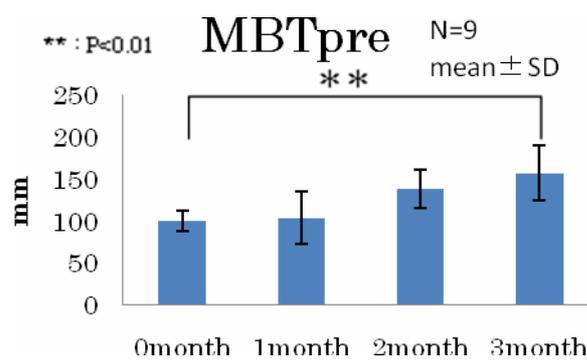
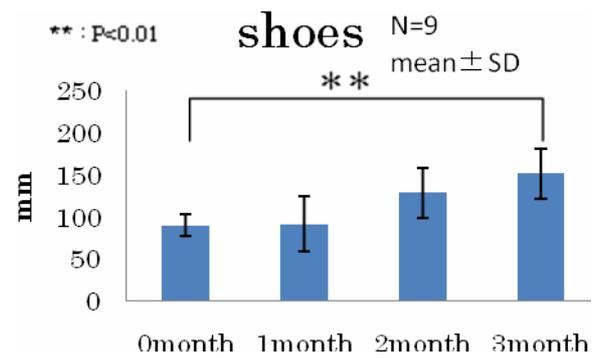
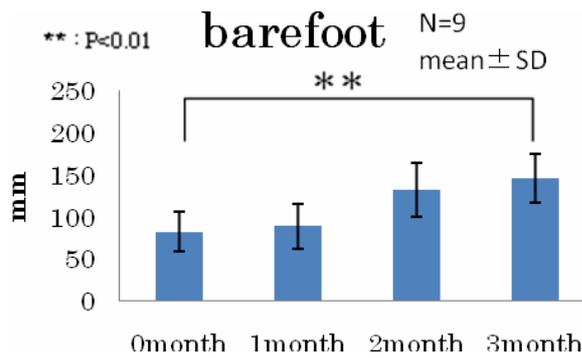


図 10 - 3 頭頂部 Z 軸上の総軌跡長の全体平均 (N = 9)

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

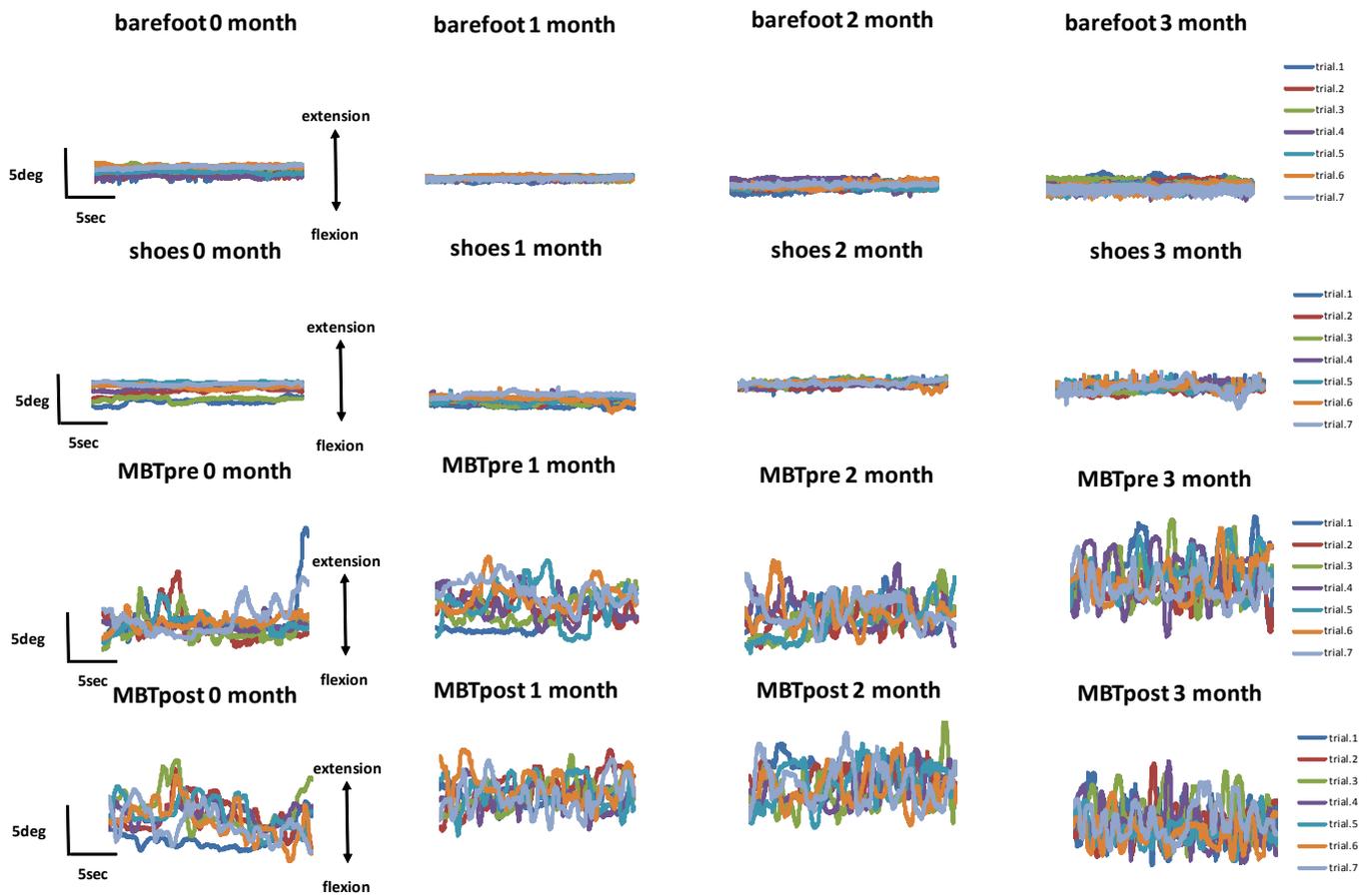


図 1.1 - 1 足関節の動き一例 (同一被験者)

barefoot : 素足

shoes : 普段靴

MBTpre : MBT shoes 着用教示前

MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

異なる色はそれぞれ 1 試行 (20sec) を表す。

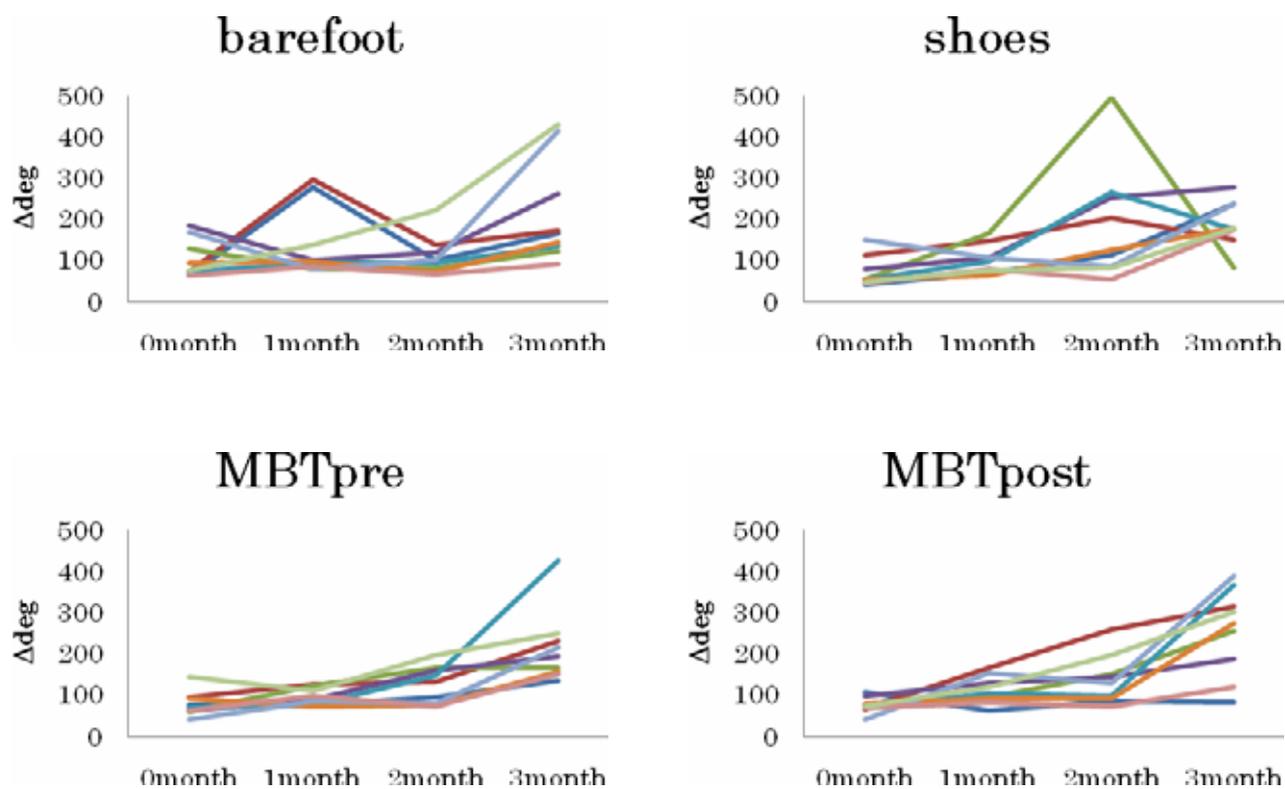


図 1 1 - 2 足関節の動きの総変化量の経時変化

barefoot : 素足

shoes : 普段靴

MBTpre : MBT shoes 着用教示前

MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

異なる色はそれぞれ 1 被験者の平均値 (7 試行) を表す。

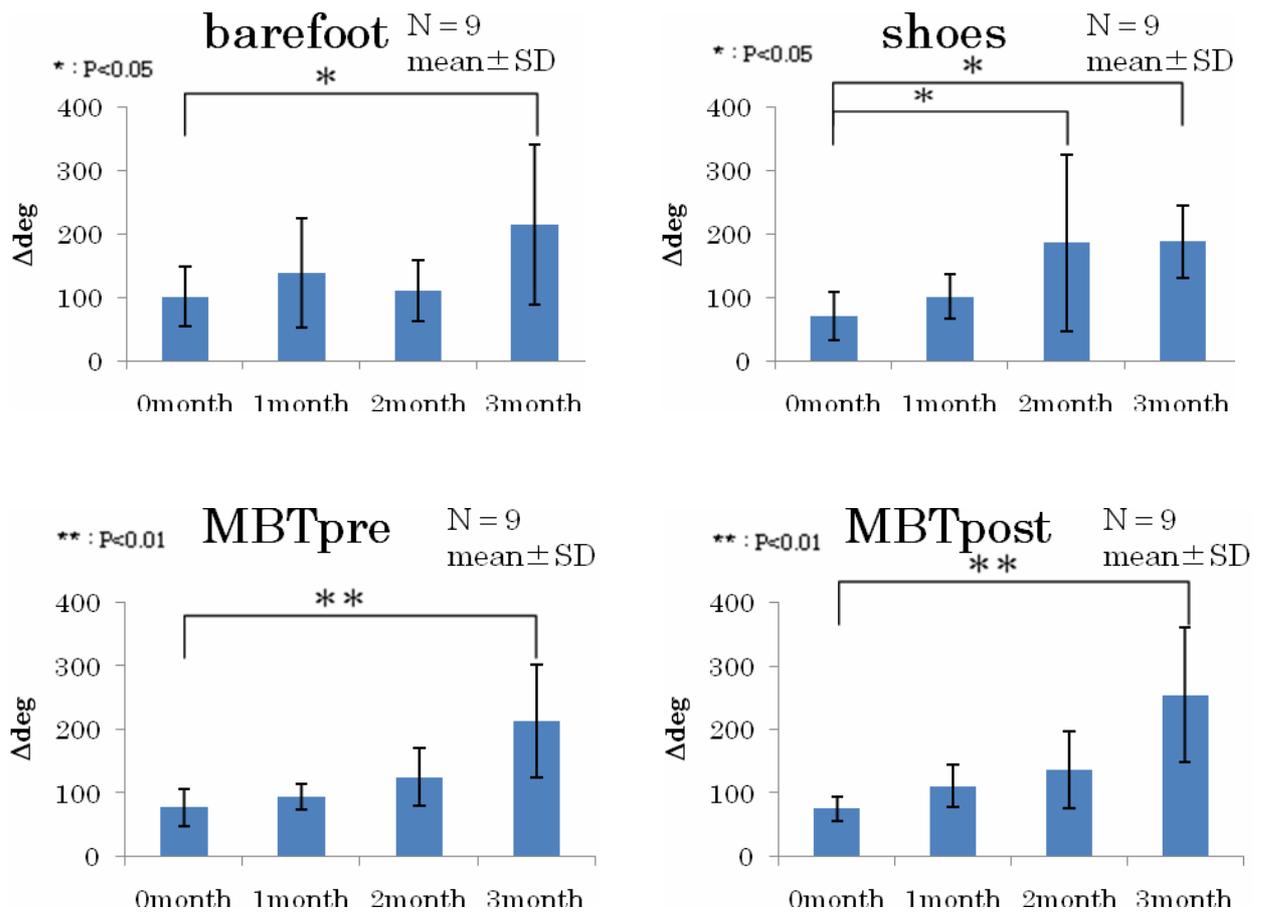


図 1 1 - 3 足関節の動きの総変化量の全体平均 (N = 9)

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

4 . 表面筋電図

各足部条件における 20 秒間の表面筋電図の一例を大腿二頭筋を図 1 2、前脛骨筋を図 1 3 に示した。大腿直筋の各足部条件別の個人平均値の経時変化を図 1 4 - 1、全体平均値を図 1 4 - 2 に示した。大腿直筋において経時的変化に有意差はみられなかった。0 month に比し増加傾向はみられるも個人差は大きい。内側広筋の各足部条件別の個人平均値の経時変化を図 1 5 - 1、全体平均値を図 1 5 - 2 に示した。内側広筋において経時的変化に有意差はみられなかった。0 month に比し増加傾向はみられるも個人差は大きかった。大腿二頭筋の各足部条件別の個人平均値の経時変化を図 1 6 - 1、全体平均値を図 1 6 - 2 に示した。大腿二頭筋において Dunnett-t 検定の結果、barefoot で 0-1 month ($P < 0.05$)、shoes で 0-1 month ($P < 0.05$)、MBTpre で 0-1 month ($P < 0.05$)、MBTpost で 0-2 month ($P < 0.05$)、0-3 month ($P < 0.05$) の有意差を示した。前脛骨筋の各足部条件別の個人平均値の経時変化を図 1 7 - 1、全体平均値を図 1 7 - 2 に示した。前脛骨筋において経時的変化に有意差はみられなかった。0 month に比し増加傾向はみられるも個人差は大きかった。長腓骨筋の各足部条件別の個人平均値の経時変化を図 1 8 - 1、全体平均値を図 1 8 - 2 に示した。長腓骨筋において経時的変化に有意差はみられなかった。0 month に比し 1 month に増加傾向はみられるも個人差は大きい。腓腹筋内側頭の各足部条件別の個人平均値の経時変化を図 1 9 - 1、全体平均値を図 1 9 - 2 に示した。腓腹筋内側頭において経時的変化に有意差はみられなかった。0 month に比し MBTpost において増加傾向はみられるも個人差は大きかった。腓腹筋外側頭の各足部条件別の個人平均値の経時変化を図 2 0 - 1、全体平均値を図 2 0 - 2 に示した。腓腹筋外側頭において経時的変化に有意差はみられなかった。個人差が大きい。ヒラメ筋の各足部条件別の個人平均値の経時変化を図 2 1 - 1、全体平均値を図 2 1 - 2 に示した。ヒラメ筋において経時的変化に有意差はみられなかった。個人差が大きかった。

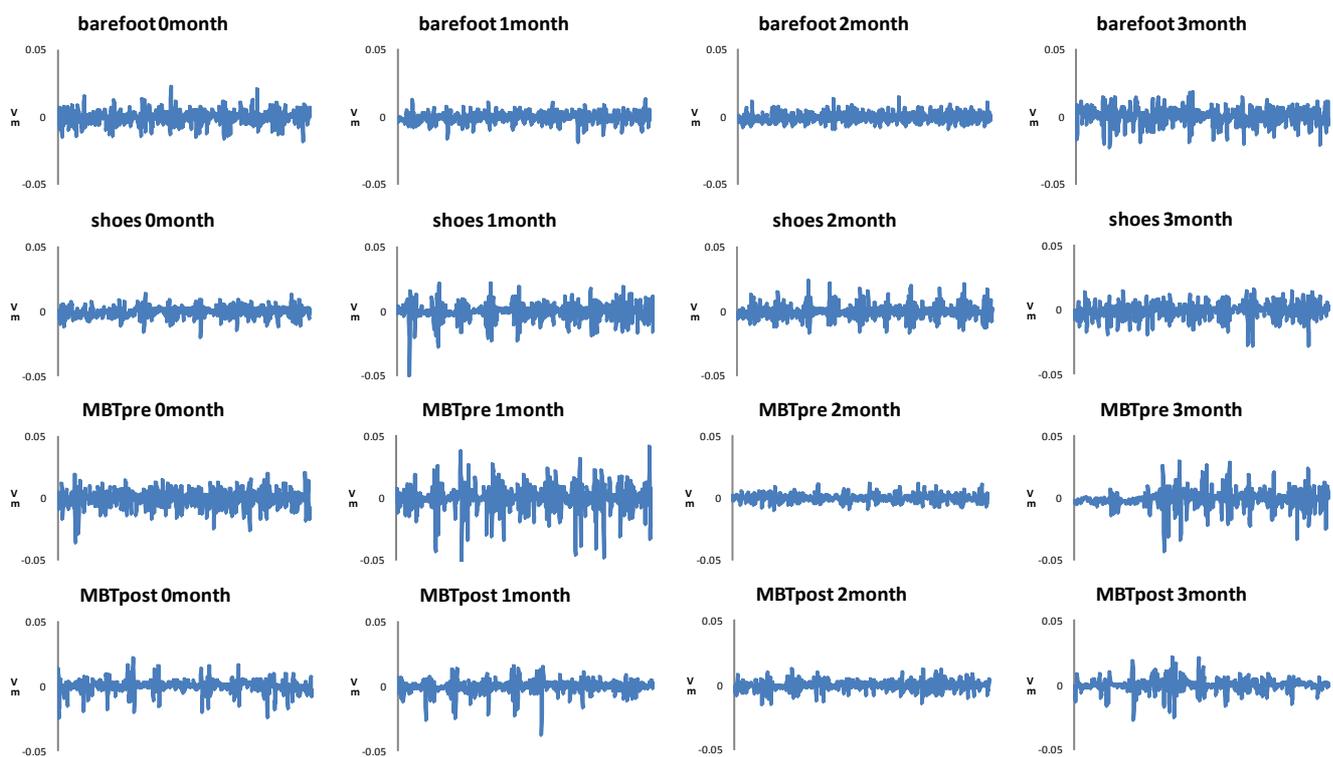


図 1 2 筋電図生波形（同一被験者）：大腿二頭筋

barefoot : 素足

shoes : 普段靴

MBTpre : MBT shoes 着用教示前

MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

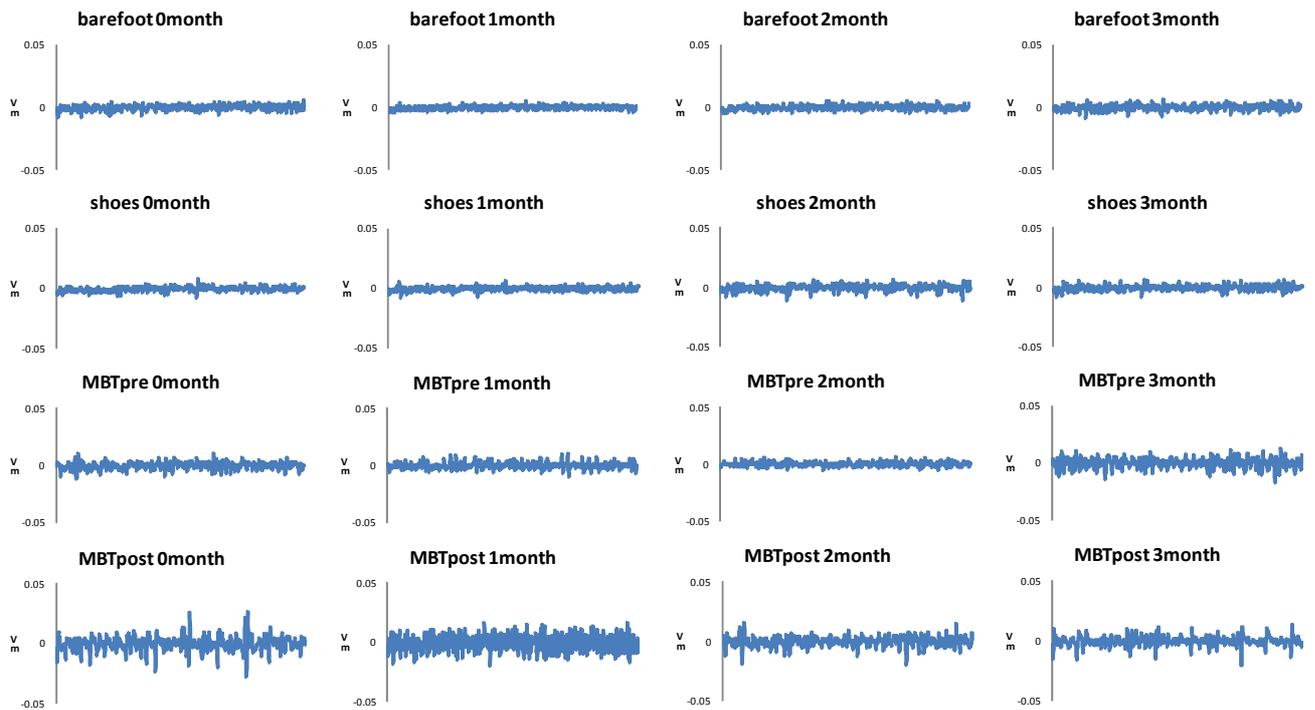


図 1 3 筋電図生波形（同一被験者）：前脛骨筋

barefoot : 素足

shoes : 普段靴

MBTpre : MBT shoes 着用教示前

MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

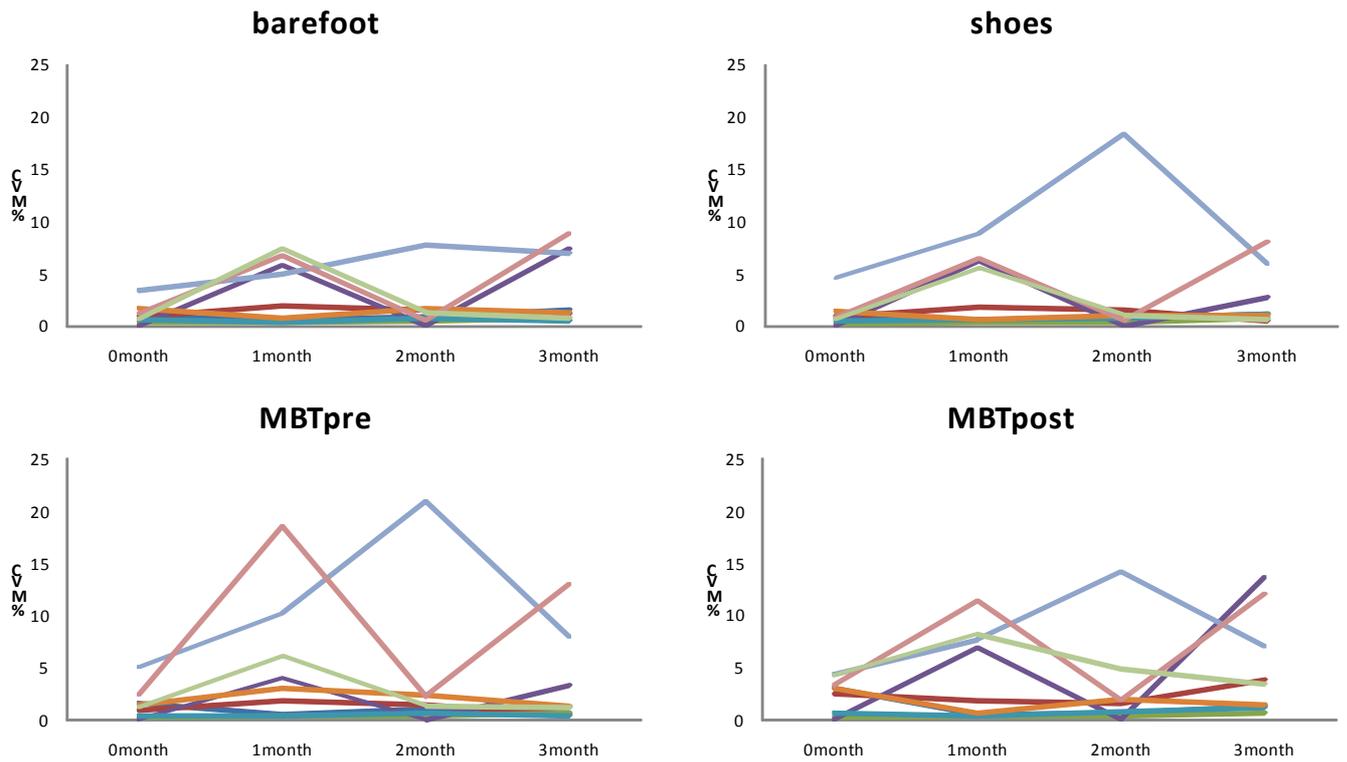


図 1 4 - 1 足部条件別の経時筋活動変化：大腿直筋

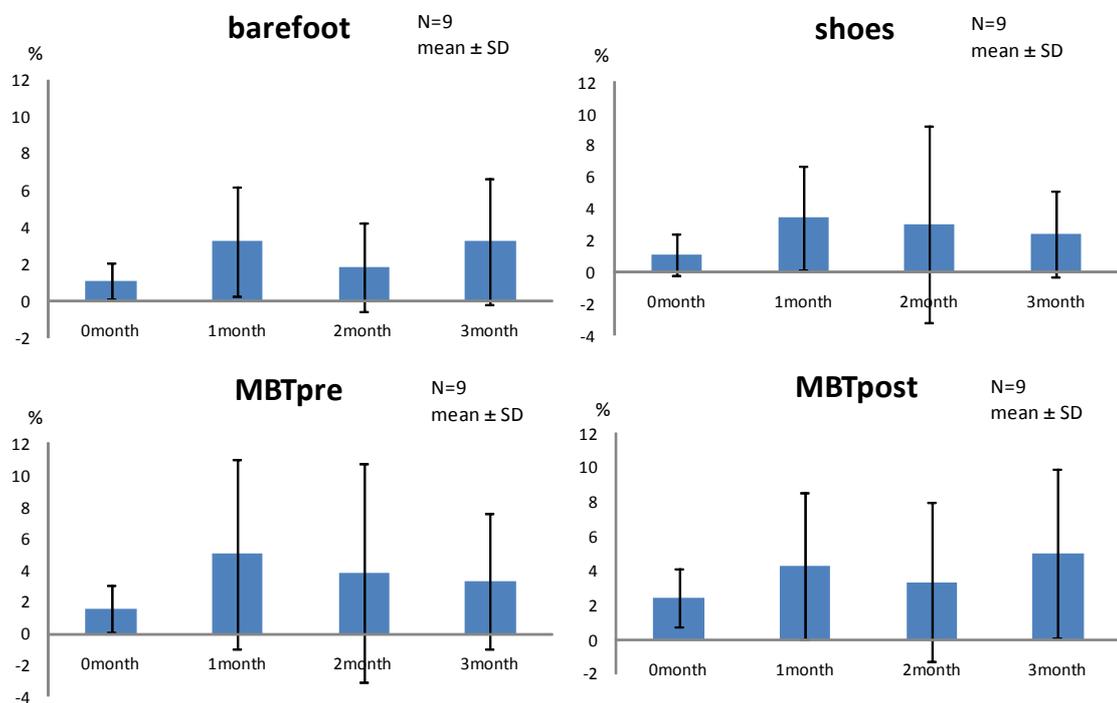


図 1 4 - 2 足部条件別の筋活動平均値：大腿直筋

barefoot：素足、shoes：普段靴、
 MBTpre：MBT shoes 着用教示前、MBTpost：MBT shoes 着用教示後
 0 month：トレーニング前

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

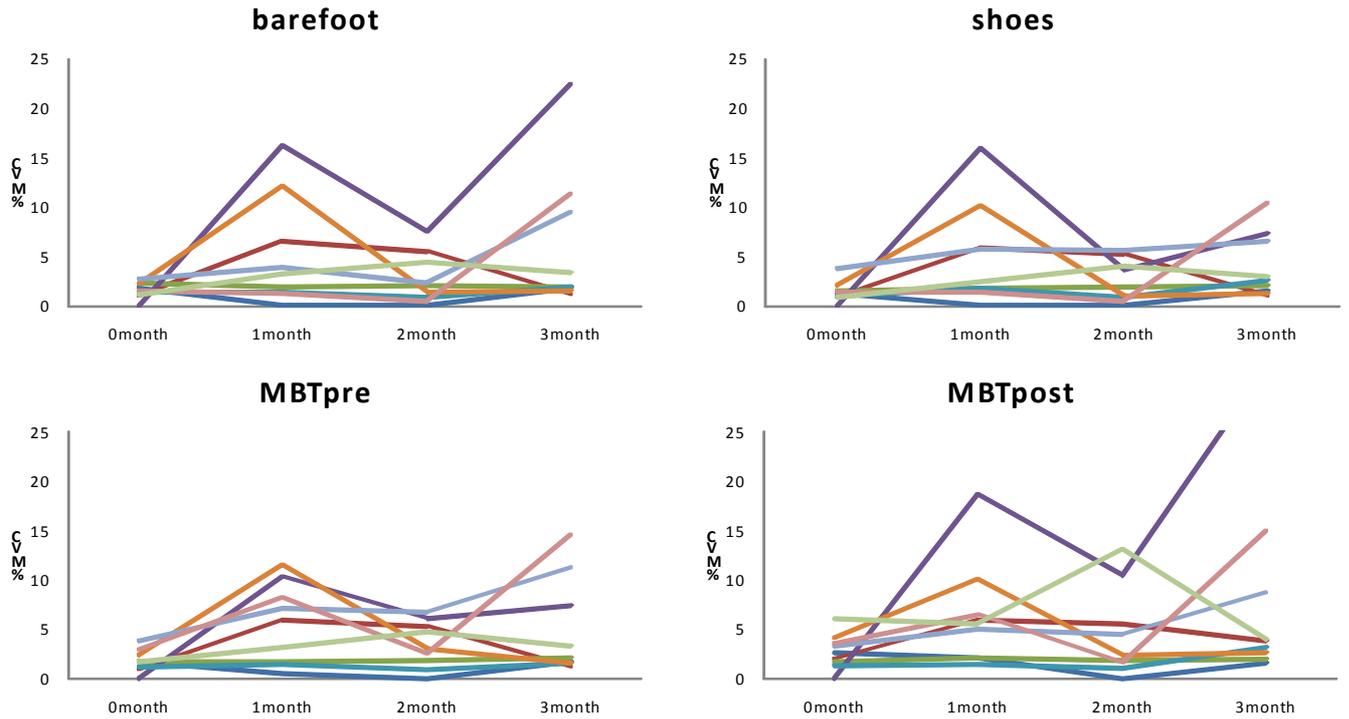


図 1 5 - 1 足部条件別の経時筋活動変化：内側広筋

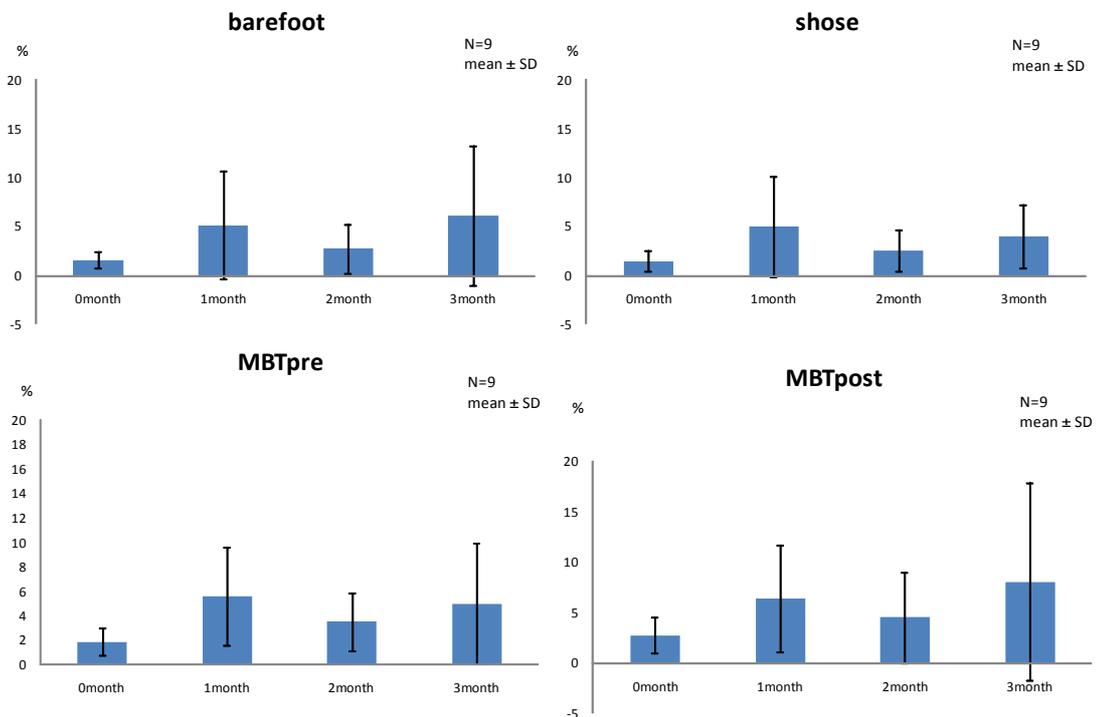


図 1 5 - 2 足部条件別の筋活動平均値：内側広筋

barefoot : 素足、shoes : 普段靴、
 MBTpre : MBT shoes 着用教示前、MBTpost : MBT shoes 着用教示後
 0 month : トレーニング前

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

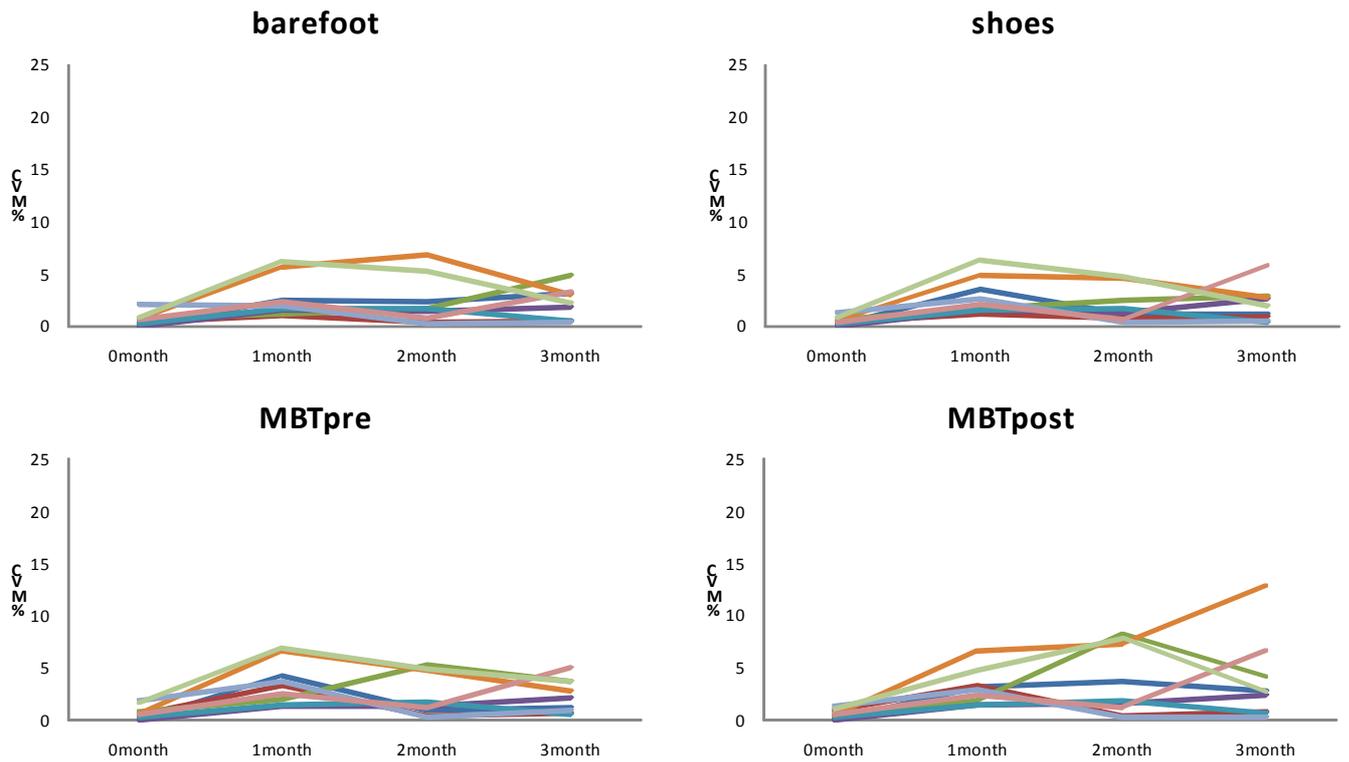


図 16 - 1 足部条件別の経時筋活動変化 : 大腿二頭筋

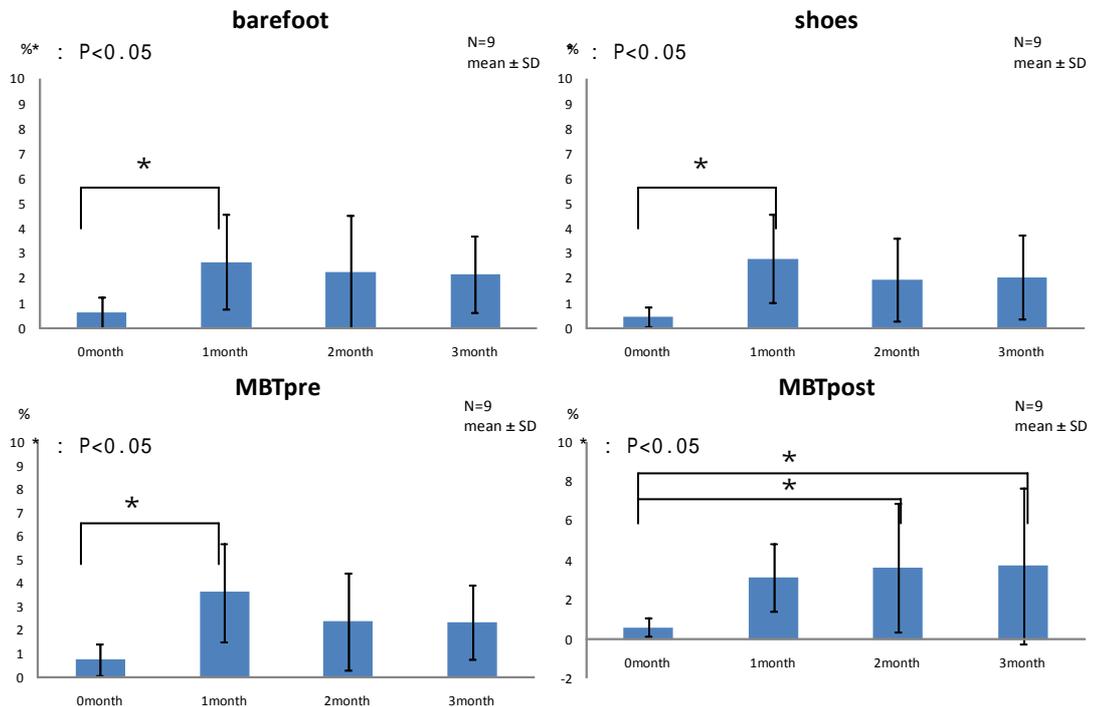


図 16 - 2 足部条件別の筋活動平均値 : 大腿二頭筋

barefoot : 素足、shoes : 普段靴、

MBTpre : MBT shoes 着用教示前、MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

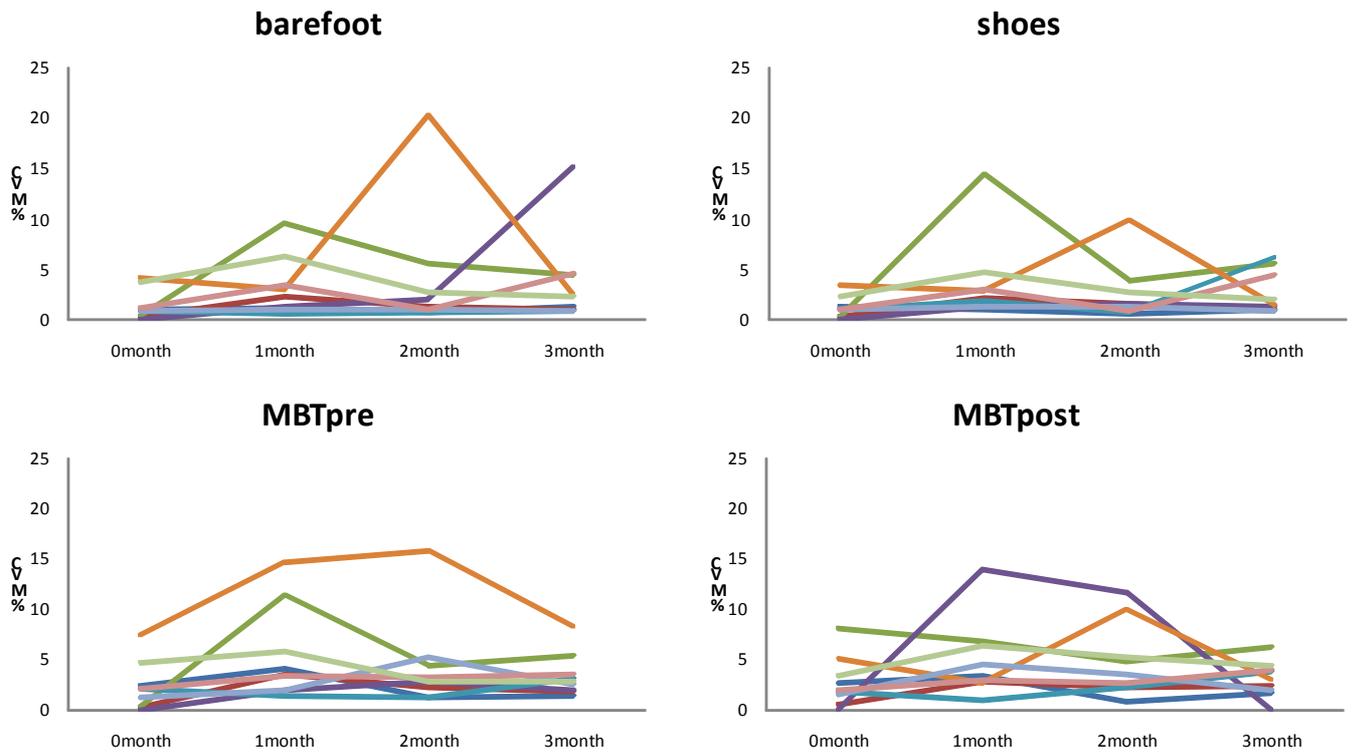


図 17 - 1 足部条件別の経時筋活動変化：前脛骨筋

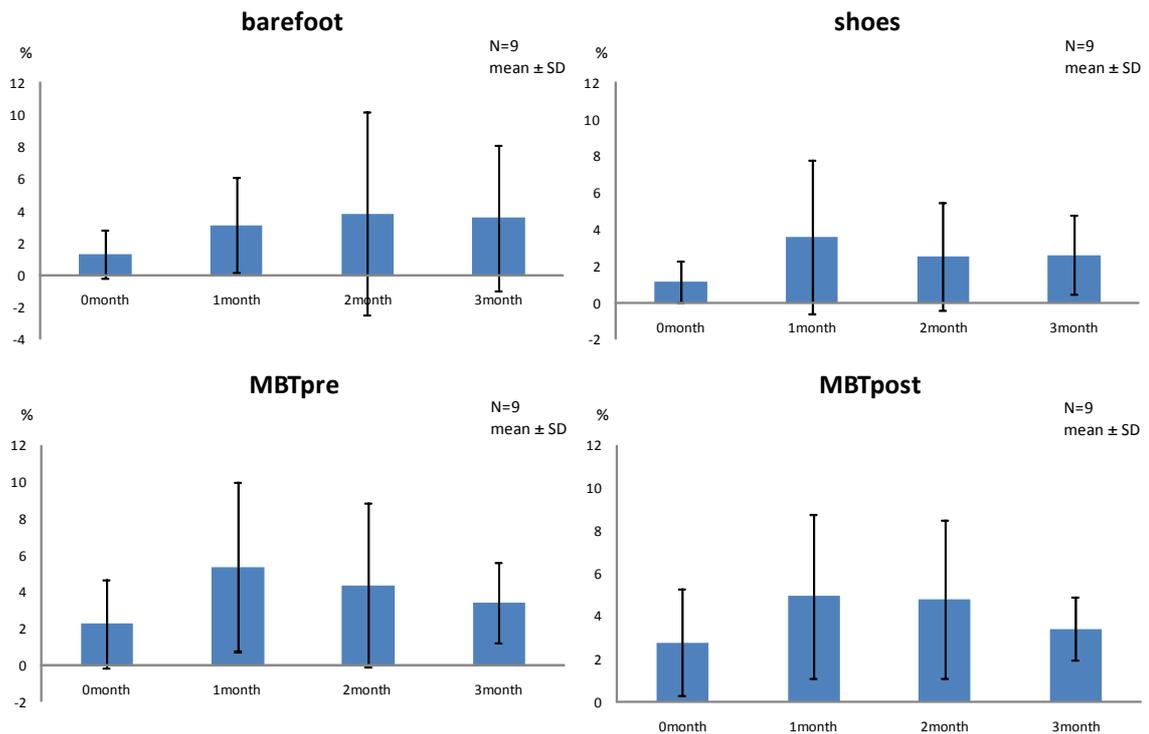


図 17 - 2 足部条件別の筋活動平均値：前脛骨筋

barefoot：素足、shoes：普段靴、
 MBTpre：MBT shoes 着用教示前、MBTpost：MBT shoes 着用教示後
 0 month：トレーニング前
 1, 2, 3 month：それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

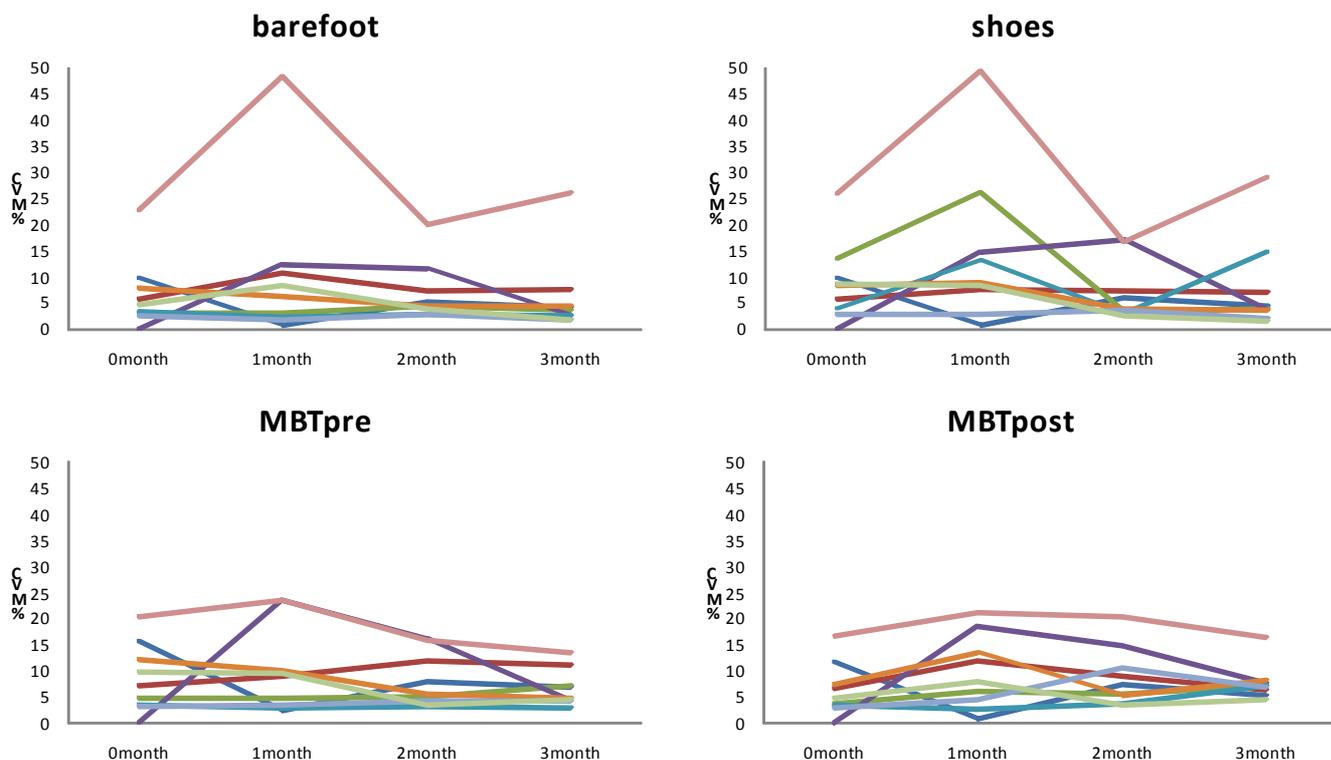


図 18 - 1 足部条件別の経時筋活動変化：長腓骨筋

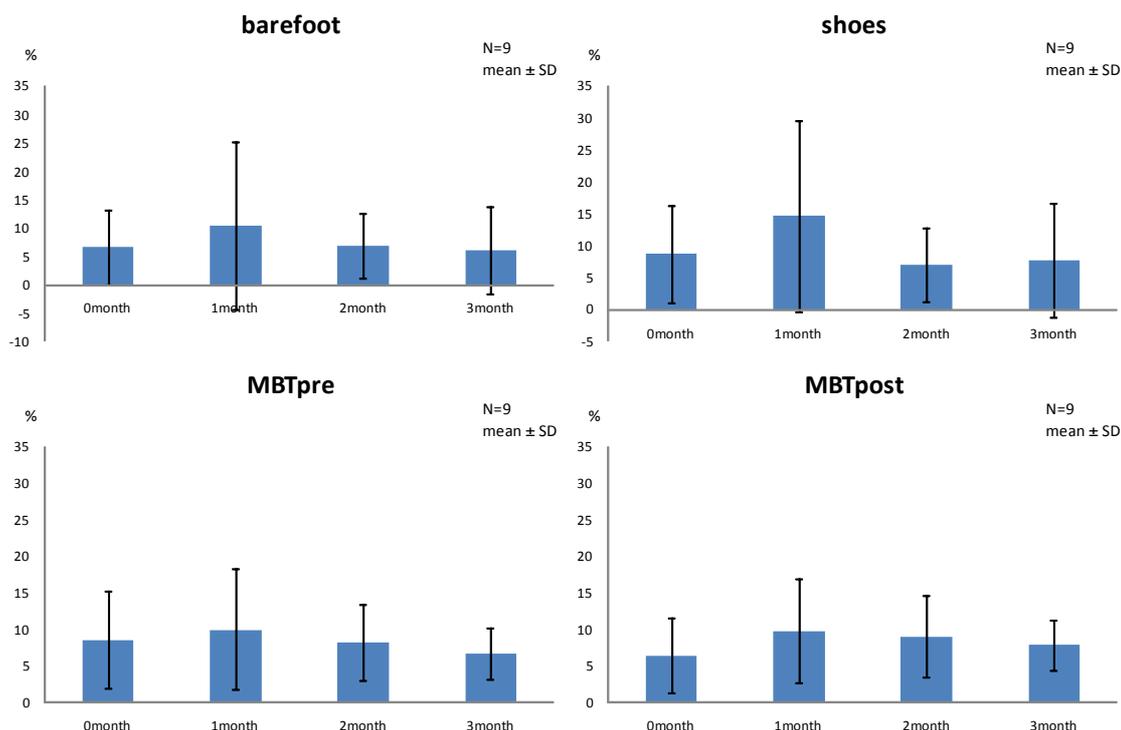


図 18 - 2 足部条件別の筋活動平均値：長腓骨筋

barefoot：素足、shoes：普段靴、

MBTpre：MBT shoes 着用教示前、MBTpost：MBT shoes 着用教示後

0 month：トレーニング前

1, 2, 3 month：それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

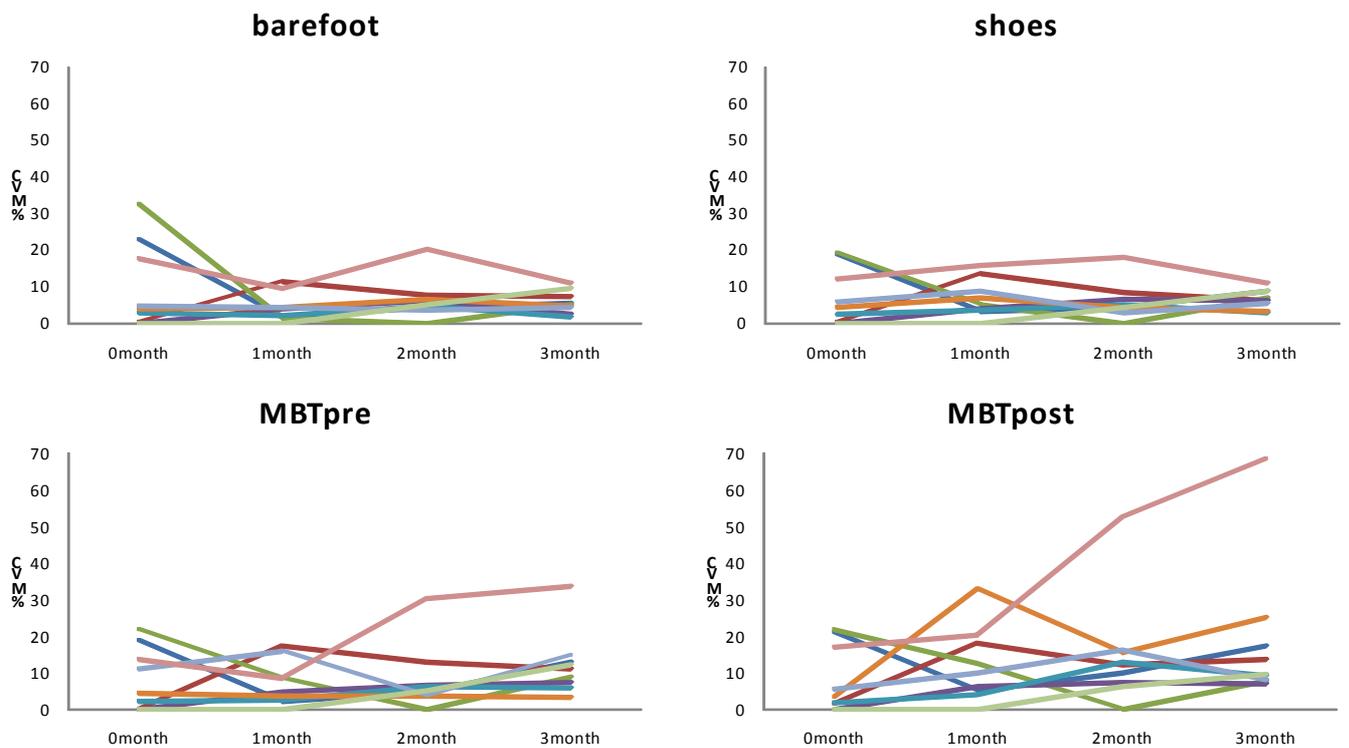


図 19 - 1 足部条件別の経時筋活動変化：腓腹筋内側頭

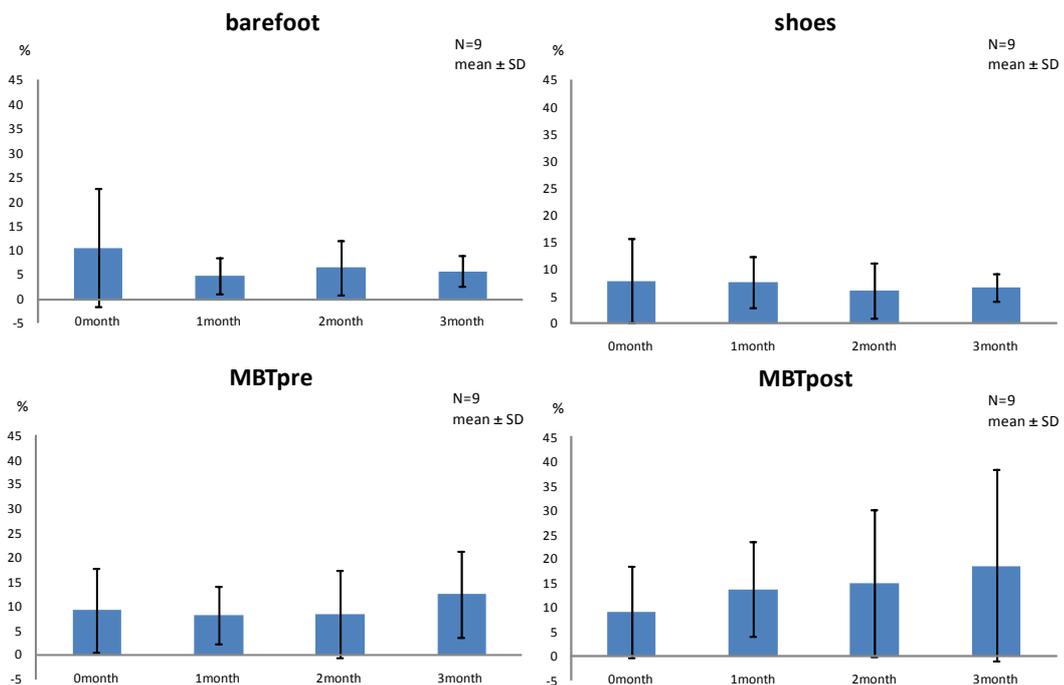


図 19 - 2 足部条件別の筋活動平均値：腓腹筋内側頭

barefoot：素足、shoes：普段靴、

MBTpre：MBT shoes 着用教示前、MBTpost：MBT shoes 着用教示後

0 month：トレーニング前

1, 2, 3 month：それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

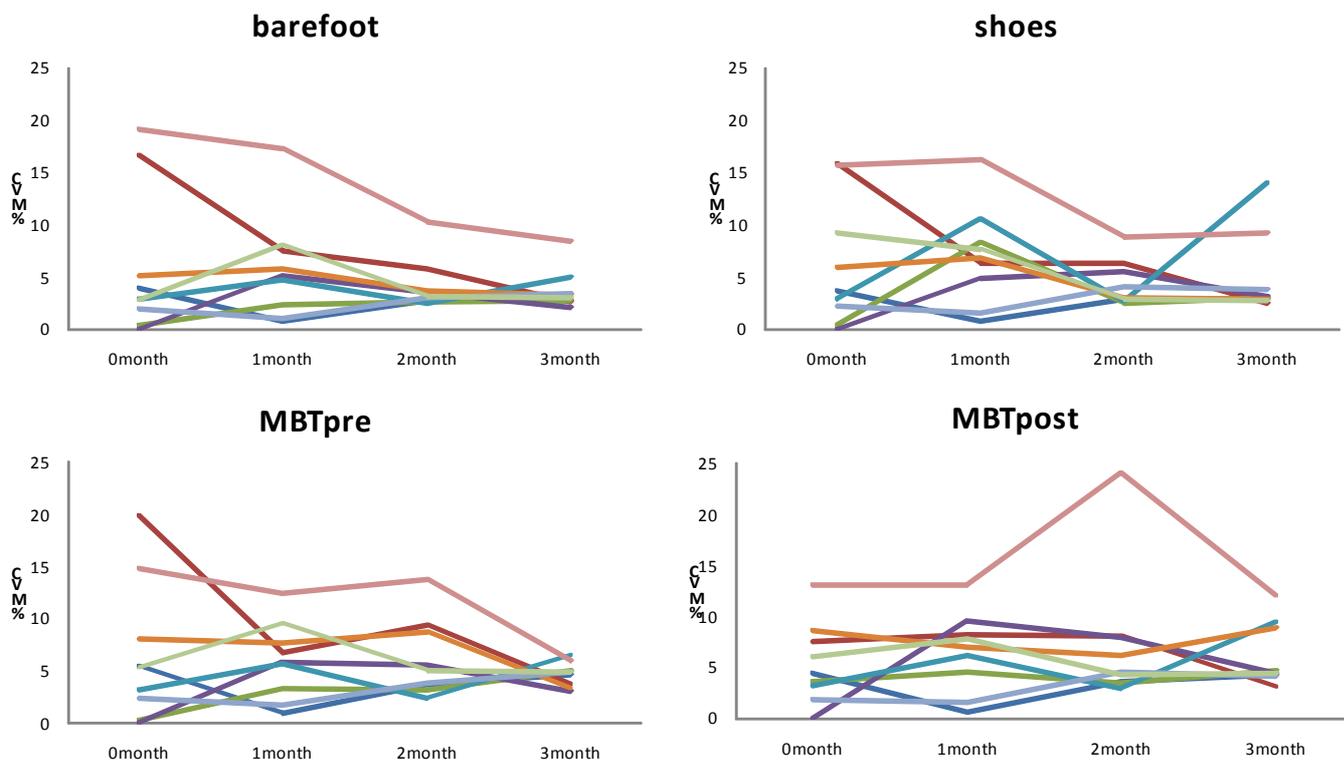


図 20 - 1 足部条件別の経時筋活動変化：腓腹筋外側頭

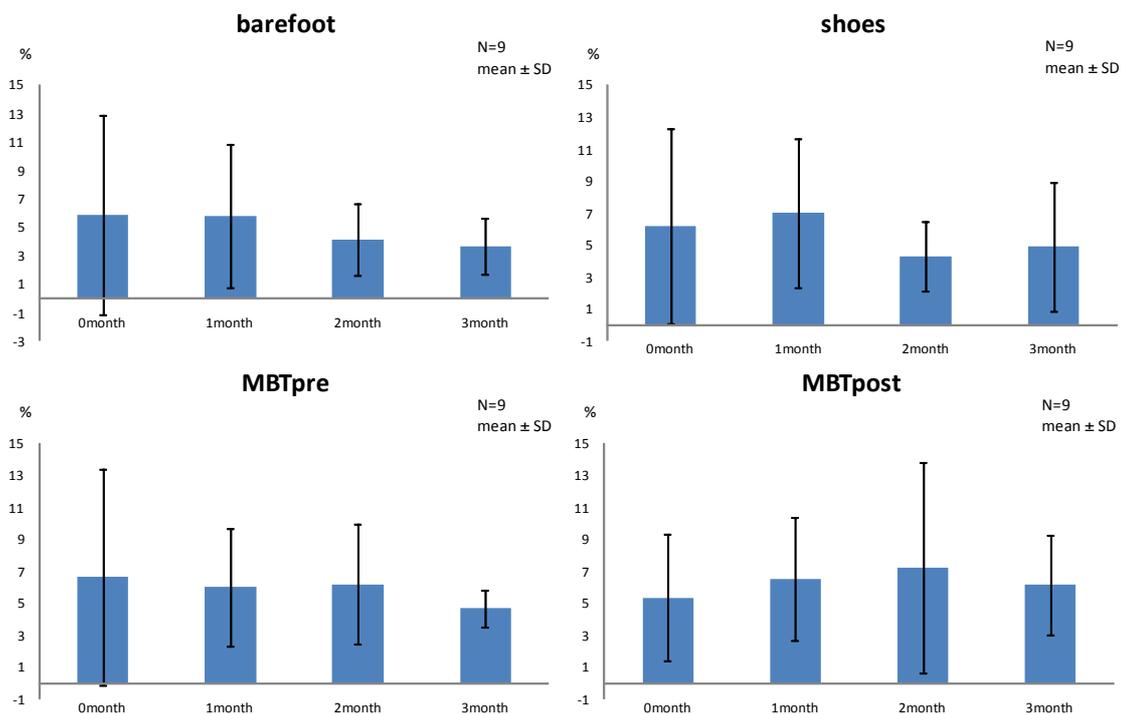


図 20 - 2 足部条件別の筋活動平均値：腓腹筋外側頭

barefoot：素足、shoes：普段靴、

MBTpre：MBT shoes 着用教示前、MBTpost：MBT shoes 着用教示後

0 month：トレーニング前

1, 2, 3 month：それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

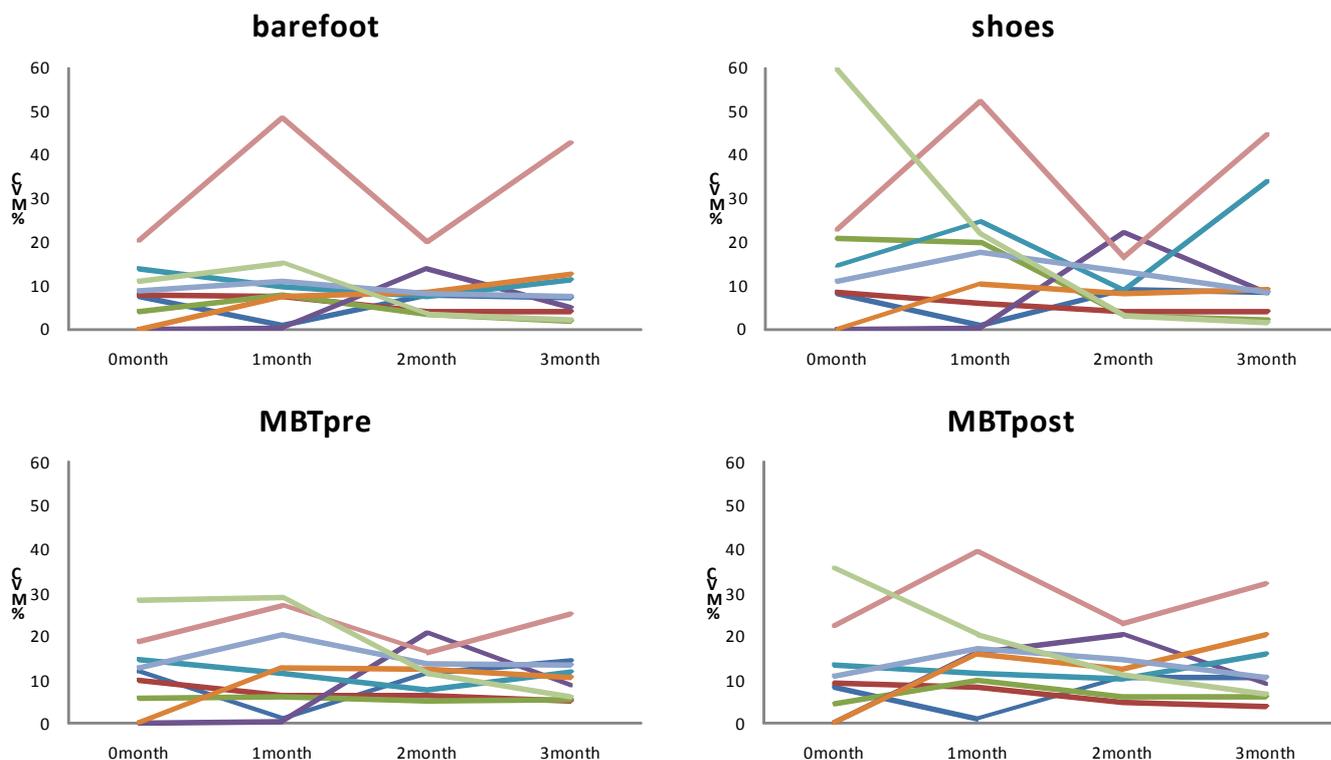


図 2 1 - 1 足部条件別の経時筋活動変化：ヒラメ筋

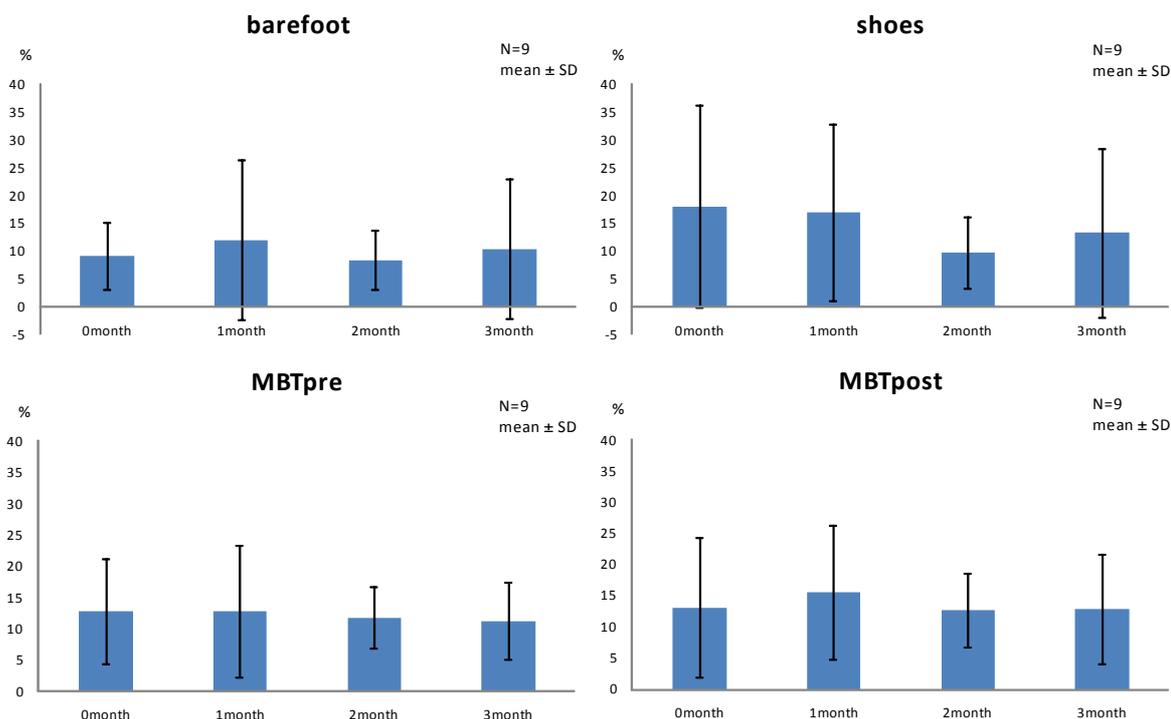


図 2 1 - 2 足部条件別の筋活動平均値：ヒラメ筋

barefoot：素足、shoes：普段靴、
 MBTpre：MBT shoes 着用教示前、MBTpost：MBT shoes 着用教示後
 0 month：トレーニング前
 1, 2, 3 month：それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

【考察】

1 . XY 平面上の頭頂部動揺

Dunnett-t 検定の結果、MBTpre の 0-2 month($P < 0.05$)、0-3 month($P < 0.01$)、MBTpost の 0-2 month($P < 0.05$)で有意差を示したことは MBT shoes の足底部の不安定さは前後方向への動きが起こりやすい構造になっており、前後方向への動揺の増加に伴ったものと考えられる。

また経時変化がみられたことは長期着用によりその不安定さの特性を学習しているのではないかと考えられた。この効果は Dunnett-t 検定の結果、barefoot の 0-2 month($P < 0.01$)、0-3 month($P < 0.01$)、shoes の 0-2 month($P < 0.01$)、0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示したように、MBT-shoes の非着用においてもその影響が残ると考えられる。

2 . Z 軸上における頭頂部軌跡

MBT-shoes 着用において 0, 1, 2, 3 month の経時変化とともに動揺の増加がみられたことより、その不安定さに対する動きを徐々に学習していったことが考えられる。Dunnett-t 検定の結果、MBTpre の 0-3 month($P < 0.01$)、MBTpost の 0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示したことより、この Z 軸上での動揺の学習には 3 ヶ月必要であることが考えられた。経時変化に伴い上下方向に小刻みな動揺が生波形より観察された。これは不安定な靴に対する制御として上下方向に小刻みに動揺するような動きを行ったのではないかと考えられる。この上下動揺は MBT shoes 着用の学習上達ではないかと考えられる。barefoot の 0-3 month($P < 0.01$)、shoes の 0-3 month($P < 0.01$)で有意差を示したことより、MBT-shoes の非着用においてもその身体的変化を学習しているのではないかと考えられた。

MBT-shoes の長期着用の経時変化に身体動揺の増加が観察された。MBTpost の 0-3 month において XY 平面上では頭頂部軌跡に有意差はなかったが、Z 軸上では頭頂部軌跡に有意差がみられた。このことより、水平面上での不安定さは制御し、鉛直方向への不安定さを残存させる身体的変化が起こったことが考えられる。この身体的変化は MBT shoes 着用学習の更なる上達ではないかと考えられた。

3 . 足関節の動揺

MBTpre において 0 month では底背屈の動きがあるがその動きは不規則である。以後 1, 2, 3 month に伴い徐々に繰り返し動くようになっていくのがわかる。

この足関節の動きは経時変化に伴い総変化量を増加させ Dunnett-t 検定の結果、MBTpre の 0-3 month ($P < 0.01$)、MBTpost の 0-3 month ($P < 0.01$) で有意差を示した。0, 1 ヶ月にみられる足関節の律動的でない動きは MBT shoes の不安定さに適応した底背屈運動の学習が出来ていなかったのではないかと考えられた。その後 2, 3 ヶ月でみられるように律動的な底背屈運動が起こっている (図 2 2)。これは MBT shoes の不安定さに対する安定した足関節の動きを学習したことが考えられた。さらに、Dunnett-t 検定の結果、barefoot の 0-3 month ($P < 0.01$)、shoes の 0-2 month ($P < 0.01$)、0-3 month ($P < 0.01$) で有意差を示したことより、MBT shoes の非着用においても足関節の動きが行われていることが考えられた。

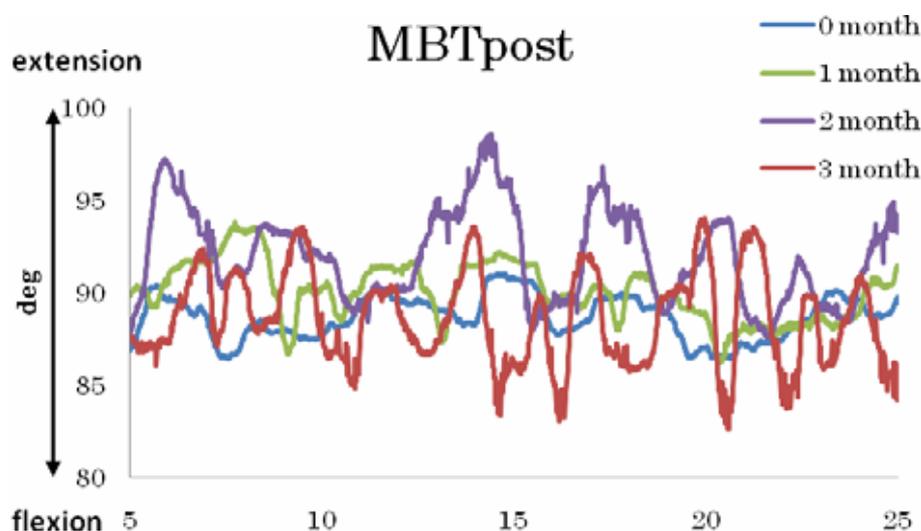


図 2 2 足関節の動きの一例

MBTpost : MBT shoes 着用教示後

0 month : トレーニング前、

1, 2, 3 month : それぞれトレーニング 1, 2, 3 ヶ月後

4 . 表面筋電図

本研究では MBT shoes の長期着用における筋活動の変化を観察した。大腿二頭筋において Dunnett-t 検定の結果、barefoot で 0-1 month ($P < 0.05$)、shoes で 0-1 month ($P < 0.05$)、MBTpre で 0-1 month ($P < 0.05$)、MBTpost で 0-2 month ($P < 0.05$)、0-3 month ($P < 0.05$) の有意差を示したことは着用により筋活動の増加が考えられた。しかし、他の筋活動においては経時変化に有意差がみられていない。これはこれらの筋の使い方に個人差が大きいためと考えられる。この個人差の要因として教示内容の解釈や意識に

正誤があったか、元々の個人差が大きかったのかが挙げられる。個人差を小さくするためには更なる被験者の選抜や教示内容の改善などがある。本研究で用いた MBT shoes の特性として“自然の不安定さ”をコンセプトに開発された靴である。あえて不安定な状態を生み出し、身体の自己防衛能力を活性化させ骨格筋システムを高める働きがある（MBT 開発資料より）。これらのことより着用前まであまり活動していなかった筋肉の筋活動の増加変化も考えられる。

5 . 総合議論

不安定な MBT を履くことにより、安定性を維持しようとするために神経筋協調性が高まり、全身の筋・腱・靭帯・骨格が調和して関節への無用な負担が軽減するとされている（Nigg et al. 2004）。MBT は歩行時の臀部、大腿後部およびふくらはぎの筋群の活動を増加させ、通常靴と比べると下肢の各関節の運動に差異が見られた（Vernon et al. 2004）。さらに理学療法と通常のリハビリテーションエクササイズを施療したグループと理学療法と MBT エクササイズを施療したグループでは、短期間の施療により、ともに有意な効果が認められ、施療期間中を通じて双方とも足関節の機能的安定性が改善した。施療から三ヶ月を経た段階では、MBT の着用を続けたグループの機能的安定性は対照グループに比べ有意に向上した（Xaver Kalin et al. 2007）など実用性、応用性が高い研究がされている。

本研究では MBT shoes の 3 ヶ月間の長期着用における静止立位時の頭頂部動揺、足関節、筋活動の変化を観察した。頭頂部動揺では経時変化に伴い総軌跡長の有意な増加がみられたことより、“自然な不安定さ”をコンセプトとしている靴に対しての身体的変化が起こったのではないかと考えられた。“不安定だからこそ自分自身の身体姿勢を常に安定させて保持できるようトレーニングするための日常履き”という教示内容の学習に沿った結果だったのではないかと考えられた。“自然な不安定さ”による動揺により身体の諸筋群の活動による制動が行われているのではないかと推測された。しかし、本研究で測定した計 8 箇所筋肉において 3 ヶ月間の経時変化で有意な増加がみられたのは 1 箇所のみであった。身体の動揺が増加しているにもかかわらず筋活動の変化がみられていない理由としては個人の教示内容の意識レベルや着用時間などの問題があげられる。これら諸問題に関しては更なる研究が必要である。もう一つの理由としては測定した 8 箇所筋肉以外の活動による姿勢調節が考えられる。

ところで、足関節戦略は狭い支持基底面内の動揺に対して働く姿勢調節として考えられている。このような調節を研究する実験条件下で、被験者がプラットフォームの

上で立位姿勢を保持しているとき、プラットフォームを前後方向に動かしたり、傾けたりすると下肢関節に応答運動が起こる。この運動は定型的であり、運動の大きさに応じて関節運動も変動する。プラットフォームが前後方向に動くと、膝関節には運動がなく、足関節あるいは股関節に屈伸運動が起こる。そのさい、下腿三頭筋とハムストリングス、前脛骨筋と大腿四頭筋がそれぞれ共同筋となって活動する。これらの応答運動は防御反応と同じである (Nashner et al 1982)。足関節の運動によって重心を支持基底内にとどめる運動を足関節戦略 (ankle strategy) と呼んでいる (Shumway-Cook A et al 1995)。これらを踏まえ、本研究で用いた MBT shoes は支持基底内での外乱刺激と考えると足関節の応答により姿勢調節している可能性が考えられる。足関節の動きは経時変化に伴い総変化量が有意に増加したことはこの可能性が高くなる。前述した MBT shoes の特性としての“自然な不安定さ”に対する応答の学習が足関節で行われていると考えられた。しかし、足関節の動きに関わる前脛骨筋および下腿三頭筋などの主動筋においては経時変化に伴う有意な変化はみられなかった。このことより足関節の動きに関わる共同筋の筋活動の変化が起こっている可能性が示唆された。

【結語】

本研究は3ヵ月間のMBT shoes着用における身体動揺および筋活動の変化を観察した。barefoot, shoes, MBTpre, MBTpostの足部4条件で頭頂部動揺、足関節運動、表面筋電図を評価指標の経時的変化について比較検討した。

・頭頂部動揺

MBT-shoesの非着用においてもその身体的変化を学習した。水平面上での不安定さは制御し、鉛直方向への不安定さを残存させる身体的変化が起こった。

・足関節運動

MBT shoesの不安定さに対する安定した足関節の動きを学習した。

・表面筋電図

大腿二頭筋の0-1 monthにおいて筋活動の有意な増加がみられた。

3ヵ月間のMBT shoes着用により足関節戦略の変化が起こり、頭頂部の動揺も変化していくことが示唆された。足関節運動に関わる主動筋の筋活動の有意な増加はみられなかったが、総変化量の有意な増加より共同筋の筋活動の増加の可能性が示唆された。

【参考文献】

- Nigg, B.M., Hintzen, S. and Ferber, R. Effect of an unstable shoe construction on lower extremity gait characteristics. *Cl. Biomechanics*, 21:82-88, 2006
- Nigg, B.M. Ferber, R. Gromley, T. Effect of an Unstable Shoes Construction on Lower Extremity Gait Characteristics. Human Performance Laboratory, The University of Calgary 2004
- Nigg, B.M. Carolyn, E. Laurie A, Hiemstra. Unstable Shoe Construction and Reduction of Pain in Osteoarthritis Patients. *the American College of Sports Medicine*. 2006
- L. Stewart, J.N.A. Gibson, C.E. Thomson. In-shoe pressure distribution in unstable (MBT) shoes and flat-bottomed training shoes: A comparative study. *Gait & Posture* 25. 2007. 648–651
- J. Romkes, C. Rudmann, R. Brunner. Changes in gait and EMG when walking with the Masai Barefoot Technique. *Clinical Biomechanics* 21. 2006. 75–81
- Nashner LM : Adaptation of human movement to altered environments. *Trends Neurosci* 5. 358-361. 1982
- Shumway-Cook A. Woollacott M. *Motor Control. Theory and Practical Applications.* Williams & Wilkins, Baltimore, 1995.

(株) EVERNEW 販売部 イントロダクション資料

【謝辞】

本修士論文の作成にあたり、主査である彼末一之に厚く御礼申し上げます。本研究で用いた MBT について彼末先生からの紹介により浅学非才な私が入験を開始することができました。GCOE プログラムのリーダーとして御多忙の中、遅々として進まない私の執筆にお付き合いいただき、丁寧な御指導、御鞭撻を賜りました。

また副査として御指導いただきました土屋純先生、磯繁雄先生にも併せて御礼申し上げます。

本研究で用いた MBT の販売元である(株)EVERNEW の社員で MBT トレーナーの間洋之さん、大部隆志さんにも厚く御礼申し上げます。MBT の提供から理論、実践まで様々な面で本研究を補助していただきました。

4 ヶ月間の長期的研究において測定から解析まで協力していただいた早稲田大学スポーツ科学部 4 年の天ヶ瀬由貴さんにも厚く御礼申し上げます。天ヶ瀬さんの協力により実験全体の効率化が図れました。

被験者を 4 ヶ月間の協力していただいた早稲田大学学術院研究科の方々、学部生についても御礼申し上げます。私自身の不手際から多大な御迷惑をおかけしていたかと思いますが、快く被験者を継続していただき大変感謝しております。

彼末研究室の博士課程の永見智行さん、修士課程の中川剣人さん、肘井崇紘さんをはじめ同研究室のみなさまにも大変感謝しております。提出日直前までご協力していただけたからこそこの本修士論文の提出が可能になりました。

またバイオメカニクス研究室の方々にも御礼申し上げます。動作解析室の使用日程調整や機器トラブルの対処などとても助かりました。

最後になりますが、本修士論文を作成するにあたり関係者各位に重ねて厚く御礼申し上げます。みなさまの御協力の上で執筆ができたことを心より感謝したいと思います。ありがとうございました。

2010 年 1 月吉日
彼末研究室 修士 2 年
岩田 晴夫



The anti-shoe.

早稲田大学彼末研究室 MBT 研究

—MBT コンセプト&諸注意&イントロセッション—

【MBT のコンセプト】

- MBT は Masai Barefoot Technology (マサイの裸足の歩行技術) の略であり、生理学的・神経科学的理論に基付いたフットウェア (履物) です。
- Masai (マサイ) と名の付くように、MBT の開発の由来はマサイの人々にあります。現代人の多くは日常生活を送る中で慢性的な腰痛や膝痛などの様々な運動器障害に悩まされています。一方で、マサイの人々は普段生活している中で腰痛や膝痛が発症することはまずありません。その要因として考えられることのひとつとしてそれぞれが住む環境の違いが挙げられます。先進国における現代人は、硬いアスファルトの路面 (=安定) 上を踵が付いて高くなった (=爪先下がり) 靴を履いて生活を送る一方で、マサイの人々は柔らかで凸凹した大地 (=不安定) の上を裸足で常に身体バランスをとりながら生活しています。すなわち、マサイの人々が生活しているような環境を現代の硬い地面の上に再現すればよいということになります。MBT はまさにそれ—柔らかい大地を裸足で歩くような感覚—を現代の硬い地面の上に再現した商品となります。
- さて、柔らかな地面の上 (例えば砂浜のような) を裸足で歩くことはとても心地よく快適に感じます。しかしながら、現代のアスファルト上を通常の踵が高くなった靴で歩くように、前傾姿勢で大股で一生懸命地面を爪先で蹴って進むような動作ですと、砂浜では思うように前に進めず疲労ばかりが残ってしまいます。これは雪や氷の上などでも同様で不安定な地面の上に共通することです。つまり、柔らかな地面の上を歩くということは、同時に不安定さを併せ持つことになり、故に、これまでのアスファルトの上を踵が高くなった靴を履いて歩く方法とは違った、ちょっとした“コツ”が必要になってきます。
- その“コツ”というものが、皆さんが実験時に教示された『MBT イントロセッション』になります (次ページに詳細掲載)。イントロセッションとは、MBT を正しく使用していただくためのトレーニングメソッドであり、立ち方 (スタンディング)・揺れ方 (バランスング)・歩き方 (ウォーキング) から成り立ちます。実験期間中、被験者の皆様にはこのイントロセッションを意識しながら MBT を正しく使用していただきたいと思います。
- MBT は、“不安定だからこそ自分自身の身体姿勢を常に安定させて保持できるようトレーニングするための日常履き”ということになります。

【MBT を使用する上での諸注意】

- 前述のように、MBT はアスファルトのような硬い地面の上に、砂浜のような柔らかな地面を再現したフットウェア (履物) になります。したがって、硬い地面以外の場所 (例えば、砂、土、山道、芝生などの上) での使用は、MBT 本来の機能を最大限発揮することができないためお勧めいたしません。
- 泥土・塩分・油分・血液・糞尿・刺激性の物質などは変色・変形・変質の原因になります。特に頻繁に泥水が浸み込む状況での使用はお控えください。尚、汚れた場合には速やかに汚れを落とし、お手入れには素材に適したケア用品をご使用下さい。
- 濡れた場合は陰干しで十分に乾燥させて下さい。
- アウトソールの模様が薄くなってきましたら、マサイセンサー (右図) 部分が露出する前に、ソール張替または市販のソール補修剤での修理をお勧めします。
- 靴紐の締め付けが緩い状態や爪先で地面を蹴る動作を頻繁に



↑
マサイセンサー



腰裏



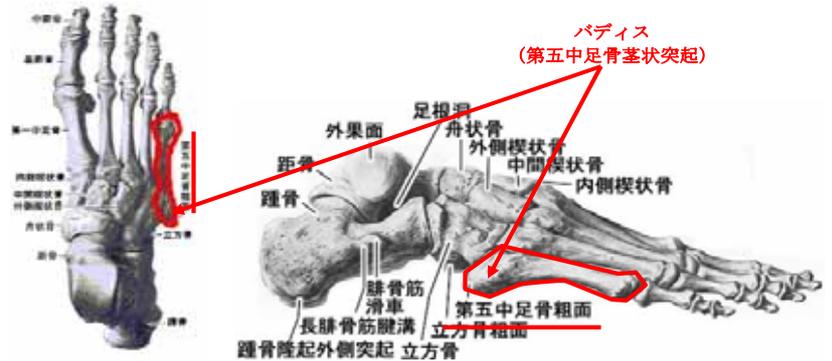
The anti-shoe.

繰り返した場合に腰裏の擦り切れが発生しがちです。

➤最初の数日間は1回のMBT着用時間を20分程度にとどめ、それを1日のうちに数回繰り返してください。急激に使い始めると翌日に極端な疲労が出る場合があります。その後、慣れてきましたら徐々に着用時間を延ばしていきます。そして、2時間通して履き続けることができるようになりましたら、一日中着用していてもかまいません。できるかぎり毎日MBTを履けるよう心がけてください。尚、どのような状況でも、身体のどこかに痛みが生じた場合は一度着用をやめ、休息をとってください。

【MBTイントロセッション】

①足の外側中央部にあるバディス（右図）をしっかり意識してください。MBTでは土踏まず側や拇指球側ではなく、着用時はバディス下に荷重をしている感覚が大切です。



②足は平行にして、腰幅程度のスタンスで立ちます。



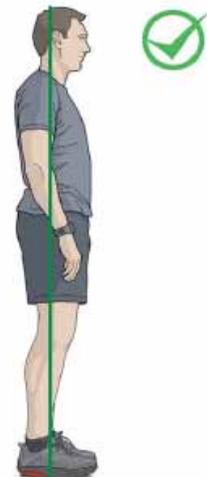
③膝は軽くリラックス（脱力）させます（膝に負担がかかるため、膝を突っ張らないようにしてください）。

④股関節を外旋させます（おしりをしめるようにします）。すると、MBTの中で自分の足の土踏まず側が高くなり、足裏の外側部（踵～バディス～小指の付根）が中敷きと触れている感覚になります。

⑤おへそを引き上げるようにして骨盤を立てます（反り腰は腰に負担がかかります）。

⑥肩を前から後ろへ回し、肩甲骨を背中側で引き寄せた状態で、肩の力をスッと抜きます。すると、胸の前側が開き、上体が高くなります。視線も高くなり、MBTを着用している時はまっすぐ前を向くようにしましょう。

⑦前後に揺れましょう。その時のポイントは足裏の踵の真下から外側部（バディス）を通して小指の付根に荷重移動している（地面をなぞっている）感覚です。





The anti-shoe.

- ⑧さらに、前側へ揺れる時はMBTの中で足指をパーにするように開きましょう（足指を開くと自然に土踏まず側が高くなり、足裏の外側に荷重しやすくなります）。
- ⑨前後の揺れ幅を徐々に小さくします。そして、シーソーの頂点（あるいは丸太の上）のような最もグラグラ揺れる部分を探してください（ちょうどバディスの下に相当します）。
- ⑩その最も揺れる部分（バディス）を、その場で交互に踏みしめてみましょう。
その時、足指はしっかり開くようにします。すると、左右の骨盤が上下に動き出します。
- ⑪狭い歩幅でゆっくりと歩き始めます。狭い歩幅なので最も揺れる部分（バディス）を左右交互に踏みしめながら歩きます。
- ⑫慣れてきたら徐々に歩くスピードを上げていきます。すると、だんだん踵の真中あたりから接地して、足裏の外側部（バディス）を通過して小指の付根が地面と触れるようになります。
ただし、あくまでも意識はバディスの部分です。バディスの部分をできるかぎり長く踏みしめて（荷重して）いると自然に前方へ転がってしまうという感覚で歩いてください。※歩幅はあまり大きくしないようにしましょう。着地衝撃が大きくなり、関節への負荷が増大してしまいます。

【以上のポイントを踏まえて正しくMBTをご使用ください。

尚、一度にすべてのことはできませんので、徐々に意識できる部分を増やし、慣れていきましょう。】