

超音波断層装置を用いた中足骨の動的評価

Ultrasonographic measurement of the transverse metatarsal arch of the foot and its dynamic motion

スポーツ医科学研究領域

5007A031-4 篠塚信行

研究指導教員： 鳥居俊准教授

【緒言】

筆者らは多くのスポーツ動作で大きな負荷がかかる中足骨に着目し、中足骨頭付近にかかる足底圧を中足骨にかかるメカニカルストレスと考え、これが足部アライメントと関連するのかどうかについて検討を行った。その結果、静止時の下腿-踵部角(以下、LHA)は中足骨頭付近の歩行時の足底圧に影響を及ぼしていることが明らかになった。しかし実際にメカニカルストレスを受ける各中足骨頭のアライメントやその歩行時の動態は不明である。

先行研究では測定機器の発達に伴い、中足骨頭付近のアライメントは内側から外側にかけ、階段状に徐々に低くなるという構造をしていることが明らかになりつつある。しかし、その動態に関しては明らかになっていない。

そこで本研究では、これまでに明らかになっていない、中足骨頭付近のアライメントや、後足部のアライメントと中足骨頭付近のアライメントの関係や動作時の中足骨頭付近のアライメントなどの動態について、明らかにすることを目的として3つの実験を行った。

【実験1: 超音波断層装置による測定の妥当性】

超音波断層装置による測定の妥当性を検討するために、男子大学生6名(21.8±2.3歳、身長168.8±7.5cm、体重66.4±6.0kg)の左脚6脚を対象にX線TVと超音波断層装置を用いて中足骨頭付近のアライメントの測定を行い、2つの測定装置による測定値を検討した。

超音波断層装置では床面から中足骨までの距離(US骨高)と床面から皮膚までの距離(US皮高)の計測を行った。中足骨の位置を確認するのであればUS骨高だけで十分だが、X線TVを用いて測定した床面から中足骨上の皮膚に貼付したマーカーまでの距離(XP高)は床面から皮膚上のマーカーを計測しているため、US皮高での検討も行った。その結果、US骨高、US皮高、そ

れぞれ相関係数は $r=0.945(p<0.01)$ 、 $r=0.965(p<0.01)$ であった。

US骨高、US皮高ともに $r=0.9$ を超える信頼性のある互換性を提示できるため、X線TVと超音波断層装置、両者に互換性はあることがわかった。

【実験2: 中足骨の動作時の評価】

撮像している画像がリアルタイムで動画として記録できる超音波断層装置で、中足骨の動的な評価が可能になれば、費用や被爆の危険性のあるX線TVを用いることなく、大規模な調査が可能になることが予想される。だが本研究ではプローベの固定装置と超音波の反射面の関係で超音波断層装置による動作時の中足骨の評価は出来なかった。そこで、実験1と同じ被験者を対象に今回は超音波断層装置による動作中の測定は行わず、中足骨の前額面上のアライメントがX線を用いて矢状面に投影された静止時や動作時の測定をどの程度推測できるか検討した。

歩行周期の中で代表的な足底接地時(以下FF)と踵離時(以下HO)の肢位でのX線TVで得られた画像と、その肢位と対応する両脚立位時と片脚立位時の中足骨の床面からの高さは $r>0.9$ の非常に強い正の相関関係であることがわかった。これより、超音波断層装置を用いた静止時の中足骨の評価で歩行時のFFとHOの肢位の中足骨の評価が可能であることが明らかになった。

本研究の目的を考慮すると、撮像している画像がリアルタイムで動画として記録できる超音波断層装置による評価が中足骨の動的な評価には適していると考えられる。だが装置の問題で本研究では動的な中足骨の評価はX線TVによる測定にとどまってしまった。今後の研究で動作時の中足骨の評価方法の確立が期待される。

【実験3: 後足部と前足部の関係】

下腿-踵部角(Leg-Heel Angle、以下LHA)が中足骨に及ぼしている影響を明らかにするために、楔状板を用いてLHAを変化させた。先行研究では楔状板について下肢全体や膝関節への影響を検討したものは見られるが、LHAが中足骨に及ぼしている影響に関する報告はほとんどない。そこで本節では後足部と前足部の関係を明らかにするために、後足部を変化させた際の中足骨頭付近のアライメントの計測を実験1で確認した超音波断層装置による方法で行った。

測定は男子大学生25名(21.6 ± 1.4 歳、身長 170.5 ± 5.8 cm、体重 66.1 ± 6.2 kg)50脚を対象に中足骨頭付近のアライメントについて、楔状板なし、外側楔状板、内側楔状板の3肢位をそれぞれ非荷重位、荷重位、片脚立位で計測した。

その結果、第1中足骨から第5中足骨に向かって徐々に低くなるという階段状の構造をしていることが明らかになった。また荷重により徐々に中足骨は沈降することも明らかになったが、楔状板の影響は見られなかった。しかし第1中足骨と第5中足骨の差を比較したところ、楔状板なしのときと外側楔状板のときでは荷重によりその値に有意な差が見られたが内側楔状板のときではそのような傾向はみられなかった。

すなわち後足部のアライメントであるLHAを変化させてもそれぞれの中足骨の位置には有意な変化はみられなかった。しかし、楔状板によってLHAを変化させることで、ショパール関節の関節表面の幾何学的関係へ影響を与え、それが前足部での荷重による中足骨全体の変化、前足部の内反・外反に影響を及ぼしている可能性があるということがわかった。

【総括論議】

中足骨頭付近のアライメントや、後足部のアライメントと中足骨頭付近のアライメントの関係や動作時の中足骨の動態について、明らかにすることを目的に中足骨頭付近のアライメントの計測を行っている。だが足部障害の予防や発生メカニズムの解明のためには本来ならば、足を構成する様々な構造をリアルタイムにいろいろな面上で評価することが必要である。

X線による測定は側方向からの撮影に限られるため、矢状面に投影されたアライメントとなる。X線像が足の

動きを追尾できないため、あらかじめ設定した画面となる。

超音波断層装置はプローベを設定した面上での断層像として撮像され、リアルタイムに、しかも動画としても記録できる。矢状面、前額面、水平面など任意の面で撮像が可能である。また、骨での反射を撮像するため、超音波があたらない側の骨面の記録は出来ず、超音波が当たる側の骨の片面しか記録できない。さらにその反射は、超音波の入射角によって大きく影響を受ける。そのため、足部の動きに合わせて超音波のプローベを傾ける装置が必要になる。そして本研究では床面からの中足骨までの距離を計測していたため、床面から足部が離れた際に、床面の代わりとなる超音波の反射面が必要になる。

しかし本研究ではそれらは準備できなかった。今回は超音波断層装置による動作中の測定は行わず、中足骨の前額面上のアライメントがX線を用いて矢状面に投影された静止時や動作時の測定をどの程度推測できるか検討した。その結果、超音波断層装置での荷重条件を変えることで動作時の足底接地時や踵離地時での中足骨アライメントを推測できる可能性が示された。

また実験3ではスポーツ医学的治療として多用されているinsoleの効果のメカニズムについて楔状板による後足部のみの変化が前足部(中足骨アライメント)に及ぼす影響に限定して超音波断層装置を用いて検討した。その結果、単なる内・外側の高さの変化だけでなく、筋張力も介したと思われる中足骨頭アライメントへの影響が明らかになった。

本研究で行った超音波断層装置による測定はプローベを固定して行った。すなわち撮像対象となる面が動かなければ、動作時の中足骨も撮像可能である。実験2のX線TV測定で得られた動画を見ると、FFからHOの直前まで中足骨は床面とほぼ平行のままだが、HOでは中足骨が傾き始める。つまりFFからHO直前までの間、超音波断層装置が撮像している部分はそのままだが、傾き始めるとその面から中足骨がずれてしまうことが考えられる。1歩行周期中の中足骨の動態を現状の装置では撮像できないが、FFからHO直前までなら動作時の評価が可能であることが考えられた。

本研究では足部に障害のない被験者を対象に行ったが、足部障害の予防や発生メカニズムの解明などを実現させるために、足部障害を持つ被験者の中足骨頭付近のアライメントや中足骨の動作時の評価

を行う必要がある。足部障害を持つ対象とそうでない対象を比較することで、スポーツ医学的治療として多用されているinsoleのエビデンスの確立や効率的なリコンディショニングへの応用が期待される。