

ドロップジャンプにおける予測の可否が体幹および下肢筋群の神経筋活動に与える影響

研究代表者 高井 洋平

目 次

要約.....	1
I. 緒言	2
II. 方法	3
1. 被検者.....	3
2. 実験プロトコル	3
3. 筋電図.....	3
4. 床反力.....	4
5. 関節角度	4
6. 分析方法	4
7. 統計手法	5
III. 結果	10
1. 予測の可否がドロップジャンプのパフォーマンスに与える影響.....	10
2. 予測の可否が関節角度および身体重心に与える影響.....	10
3. 予測の可否が体幹および下肢筋群の筋活動に与える影響	10
IV. 考察	18
V. 結論	20
参考文献	21

ドロップジャンプにおける予測の可否が体幹および下肢筋群の神経筋活動に与える影響

研究代表者名 高井 洋平

共同研究者名 高橋 拓巳, 中本浩揮, 金久博昭

要約

ドロップジャンプのパフォーマンスは、スポーツで成功をするために必要不可欠な能力の一つである。球技スポーツ(サッカー、バスケットボールなど)の場面では、相手やボールの動きなど、外部刺激に対して時間的・空間的变化が予測しやすい状況で実施者が予め先に行う動作を計画し実行する場面(予測可能条件)と予測しにくい状況で実施者が刺激に反応するように動作を実行する場面(予測不可条件)が存在する。予測可能条件では、ドロップジャンプや着地動作中のパフォーマンスを対象に、これまでに生理学およびバイオメカニクス的手法を用いて詳細に検討されてきた。しかしながら、実際の球技スポーツでは周りの選手やボールの動きに合わせる場面が多いため、予測不可条件でのパフォーマンスの規定因子に着目することがより重要であると考えられる。そこで本研究では、ドロップジャンプにおける動作遂行時の予測の可否がパフォーマンス、動作遂行時の体幹および下肢筋群の筋活動に与える影響について明らかにすることを目的とした。

被検者は、健康な体育大学生男子 11 名 (23.0 ± 0.8 歳, 172.8 ± 1.3 cm, 68.3 ± 1.7 kg, 平均値 $\pm$ 標準偏差) であった。画面に表示される矢印($\uparrow$, ドロップジャンプを行う; $\downarrow$, 着地する)に従って、動作を行った。課題条件は、必ず「 $\uparrow$ 」が出る試行(予測可能条件, 100%条件)と「 $\uparrow$ 」の出現率が異なる試行(予測不可条件)とした。予測不可条件では、総試行数を 20 回とし、上向きの矢印が出現する回数を変化させた 3 条件を行った。すなわち、① 20 回中 15 回がジャンプ, 5 回がランディング(75%条件), ② 20 回中 10 回がジャンプ, 10 回がランディング(50%条件), ③ 20 回中 5 回がジャンプ, 15 回がランディング(25%条件)とし、条件および呈示する矢印の順番は無作為に決定した。課題動作における床反力(床反力計), 体幹および下肢筋群の筋活動(表面筋電図)および関節角度(ハイスピードカメラ)を測定した。体幹および下肢筋群から筋電図を記録した。筋電図は、接地前 100 ms, 接地後 0-30 ms, 30-60 ms, 60-90 ms および 90-120 ms(LLR)の区間で分析し、筋電図振幅値(AEMG)を算出した。

100%条件のドロップジャンプ時の跳躍高, ドロップジャンプ指数, レッグスティフネスおよび最大床反力(図 6)は、他の 3 つの条件よりも有意に高い値であった。100%条件の接地時間は、他の 3 つの条件と比較して短かった。予測不可条件間にはいずれも有意な差は認められなかった。股関節角度は、身体重心最下点で 100%条件が他の条件と比較して有意に大きかった。膝関節角度は、接地時および身体重心最下点で 100%条件が他の条件よりも有意に大きかった。足関節角度は、身体重心最下点で、100%条件が他の条件よりも有意に大きかった。予測不可条件間では、いずれの関節にも有意な差は認められなかった。大殿筋および外側広筋では、接地前の 100 ms の筋活動が、100%条件と比較して予測不可条件で有意に低かった。接地後 30 ms 以内では、中殿筋, 大殿筋, 大腿直筋, 外側広筋, 腓腹筋内側頭, 外腹斜筋で 100%条件の筋活動が、他の条件よりも有意に高かった。接地後 30 ms から 60 ms では中殿筋, 大殿筋, 大腿直筋, 外側広筋, 大腿二頭筋, 腓腹筋内側頭, ヒラメ筋, 内腹斜筋で、100%条件の筋活動が他の条件よりも有意に高かった。接地後 60 ms から 90 ms では大殿筋, 大腿直筋, 外側広筋, 腓腹筋内側頭, ヒラメ筋で予測不可条件の筋活動は、100%条件と比較して有意に低かった。接地後 90 ms から 120 ms では、ほとんどすべての筋で、100%条件の筋活動が、予測不可条件よりも有意に高かった。前脛骨筋のみ予測不可条件のほうが 100%条件よりも筋活動が高かった。予測不可条件では、前脛骨筋を除いて、条件間に有意な差は認められなかった。

本研究結果から、予め先に行う動作を予測しにくい状況でのドロップジャンプ時のパフォーマンスは、予め先に行う動作を予想できる状況のそれよりも減弱し、その減弱は、それらの状況間での体幹および下肢筋群の神経筋活動の低下が関与していることが明らかとなった。

代表者所属: 鹿屋体育大学

I 緒言

ドロップジャンプのパフォーマンスは、スポーツで成功をするために必要不可欠な能力の一つである (Young et al., 2002). 球技スポーツ(サッカー、バスケットボールなど)の場面では、相手やボールの動きなど、外部刺激に対して時間的・空間的变化が予測しやすい状況で実施者が予め先に行う動作を計画し実行する場面(予測可能条件)と予測しにくい状況で実施者が刺激に反応するように動作を実行する場面(予測不可条件)が存在する. 予測可能条件では、ドロップジャンプや着地動作中のパフォーマンスを対象に、これまでに生理学およびバイオメカニクス的手法を用いて詳細に検討されてきた. 特に、体幹筋群および下肢筋群がフィードフォワードまたはフィードバック的に活動し、ジャンプパフォーマンスの増大や着地時の衝撃緩衝に寄与していることが明らかとなっている (Horita et al., 1996; Taube et al., 2008; Blackburn et al. 2009). しかしながら、実際の球技スポーツでは周りの選手やボールの動きに合わせる場面が多いため、予測不可条件でのパフォーマンスの規定因子に着目することがより重要であると考えられる.

予測可能条件でのドロップジャンプのような伸張短縮サイクル(SSC)が起こる身体運動の制御では、運動に先立ち事前に計画された筋活動と動作遂行時の筋収縮による感覚フィードバック(H反射の興奮性など)由来の筋活動および随意的な筋活動が相互に生じる (Horita et al., 1996; Taube et al., 2008). また、感覚フィードバック由来の筋活動の大きさは、SSC運動時のパフォーマンスと関連する (Komi & Gollhofer, 1997). 一方で、先に行う動作を予測しにくい状況で行われたドロップジャンプのパフォーマンスおよび神経筋活動が、予測可能条件でのそれらと比較してどのように変化するかについて着目した研究は極めて少ない (Leukel et al., 2012). ドロップジャンプ時の接地前に聴覚刺激に反応してドロップジャンプを行わせ た Leukel et al. (2012)の結果では、予め被検者に音が鳴ることを通知する条件と通知しない条件では、パフォーマンスには影響しないが、ヒラメ筋の筋活動は条件間で異なることが示されている. しかしながら、ドロップジャンプのようなSSC運動は複数の筋の関与によって制御されているにも関わらず、限定された筋のみであることから、予測可能条件と不可条件との間で複数の筋が運動の戦略を修正している可能性がある. また、多くの球技スポーツの場面では、相手やボールの動きを視覚的に認識し、動作を実行するため、視覚刺激を用いた場合に条件間で違いの有無があるのかについては明らかになっていない.

そこで本研究では、ドロップジャンプにおける動作遂行時の予測の可否がパフォーマンス、動作遂行時の体幹および下肢筋群の筋活動に与える影響について明らかにすることを目的とした.

II 方法

1. 被検者

被検者は、健常な体育大学生男子 11 名 (23.0 ± 0.8 歳, 172.8 ± 1.3 cm, 68.3 ± 1.7 kg, 平均値 $\pm$ 標準偏差)であった。なお、実験に先立ち、被検者には、実験の目的、測定の内容および安全性について十分な説明を行い、実験参加の同意を得た。

2. 実験プロトコル

実験に先立って、被検者には 5 分間のウォーミングアップを行った後に、ドロップジャンプに慣れさせるために、予測可否条件下でドロップジャンプを行わせた。ドロップジャンプは、高さ 0.4 m の台から行った。被検者には、腕を腰に当てた状態から、自然落下になるように台から降りるように指示した。着地のときには、両脚で着地させた。地面から 0.3 m の高さに光電管を設置し、被検者が光電管を通過したときに、被検者の目の前に設置したモニターの画面に矢印が提示されるようにした(図 1)。上向きの矢印が提示された場合には、着地後に出来るだけ早く、高くジャンプするように指示し、下向きの矢印が提示された場合には、緩衝動作が不自然に大きく、あるいは小さくならないよう、自然な緩衝動作を伴うランディングを行うよう指示した。矢印呈示には、矢印呈示用プログラムを DASyLab (P&A Technologies 社製)で作成した。

実験条件は、被検者が試行を行う前に提示される矢印を予め伝える条件(100%条件)と、先に行う動作を予測できない条件(予測不可条件)の 2 条件であった。すべての被検者は、予測可能条件を行い、5 分間の休息後に、予測不可条件を行った。予測可能条件の試行数は、5 回とした。試行間の休息は、30 秒とした。予測不可条件では、総試行数を 20 回とし、上向きの矢印が出現する回数を変化させた 3 条件を行った。すなわち、① 20 回中 15 回がジャンプ、5 回がランディング(75%条件)、② 20 回中 10 回がジャンプ、10 回がランディング(50%条件)、③ 20 回中 5 回がジャンプ、15 回がランディング(25%条件)とし、条件および呈示する矢印の順番は無作為に決定した。なお、被検者にはどの条件を行うか事前に通知した。全ての予測不可条件が終了後、5 分間の休息を挟み、疲労の影響を確認するため、100%条件でのドロップジャンプを 2 回行った。

予測可条件および予測不可条件ともに、提示された矢印とは異なる動作が遂行された場合や不自然な動作が行われた場合については、試行数に含めずに、一通りの試行を終えた後に該当の動作を行った。なお、この判断については検者が行い、被検者にはどの試行をやり直すのか分からないようにした。

3. 筋電図

動作中の体幹および下肢筋群の筋活動は、表面筋電図計(ME6000T16; MEGA Electronics, Finland)を用いて記録した。被検筋は、腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、脊柱起立筋、大殿筋、中殿筋、大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋内側頭、ヒラメ筋の 12 筋であった。電極間の抵抗を下げるための処理を行った後、直径 1.5 cm の Ag-AgCl 電極を、各筋の筋腹に電極間距離 2.0 cm で貼り付けた。各筋に対して基準電極としてプリアンプとしての役割をする基準電極を貼り付けた。サンプリング周波数は、2,000 Hz とした。

課題動作中の筋活動を正規化するために、各筋の等尺性最大随意収縮を行った。それぞれの測定姿勢は、以下の通りであった。

- ・ 大殿筋
右脚の膝関節を 90 度に屈曲させた腹臥位姿勢で、股関節伸展動作を行った。
- ・ 中殿筋
横たわった姿勢で、股関節外転動作を行った。
- ・ 大腿直筋、外側広筋
膝関節および股関節角度 90 度で座った姿勢で、膝関節伸展動作を行った。
- ・ 大腿二頭筋
膝関節および股関節角度 90 度で座った姿勢で、膝関節伸展動作を行った。
- ・ 前脛骨筋
足関節角度 90 度の長座位姿勢で、足関節背屈動作を行った。

- ・ 腓腹筋内側頭, ヒラメ筋
足関節角度 90 度の長座位姿勢で, 足関節底屈動作を行った.
- ・ 腹直筋, 内腹斜筋, 外腹斜筋
膝を立てた腹臥位姿勢で, 体幹屈曲動作を行った. ただし, 内腹斜筋および外腹斜筋においては, 横たわった姿勢で側屈動作も行った.
- ・ 脊柱起立筋
仰臥位姿勢で, 体幹伸展動作を行った.

いずれの試行も, 被検者は, 安静状態から最大努力まで 5 秒間かけてランプ状に力発揮を行った. 各試行 2 回ずつ行い, 試行間には 1 分間の休息を設けた.

4. 床反力

動作中の鉛直方向の床反力は, 床反力計を用いて計測した (Z15907, Kistler 社製). 床反力データは, 8 チャンネル・チャージアンプ (9865, Kistler 社製) にて電圧に変換した後に増幅し, A/D 変換器 (PowerLab/16sp, ADInstruments, Australia) を介して, サンプリング周波数 2,000 Hz でパーソナルコンピュータに記録された.

5. 関節角度

ハイスピードカメラ (GRAS-03K2C-C, Point Grey Research 社製) を用いて, 被検者の矢状面から毎秒 200 フレームで撮影した. 跳躍動作の撮影に際し, 被検者には上下黒タイツおよび黒色の水泳キャップを着用させ, 反射マーカを頭頂, 右肩峰, 右大転子, 右大腿骨外側上顆, 右踝, および右第三中足骨の遠位端に貼付した. 実験実施時は, マーカを反射させるため室内の照明を消し, 被検者の右側方からライトを当てた.

6. 分析方法

課題動作および等尺性最大随意収縮時の筋電図は全波整流後に, フィルター処理を行った. 下肢筋群では 4 次のバターワースフィルタを用いて, カットオフ周波数 75 Hz のローパスフィルタ (Horita et al., 1996) を, 体幹筋群では心拍のアーチファクトを除くために, 4 次のバターワースフィルタを用いて, カットオフ周波数 20 Hz のハイパスフィルタ (Hof et al., 2009) をかけた. フィルター処理後に, 課題動作および等尺性最大随意収縮時の筋電図振幅値 (root mean square, RMS) を算出した. 等尺性最大随意収縮時筋電図振幅値 (AEMGmax) は, 最大トルクが出現した地点の前後 1 秒間とした. 先行研究に倣って (Horita et al., 1996; Taube et al., 2008), 課題動作時の筋電図振幅値は, 接地前 100 ms (PRE), 接地後から 30 ms (Background EMG) 接地後 30 ms から 60 ms (短潜時成分, SLR), 接地後 60 ms から 90 ms (中潜時成分, MLR), 接地後 90 ms から 120 ms (長潜時成分, LLR) の 5 つの局面の平均値を算出し, 等尺性最大随意収縮時のそれで正規化し, 相対値 (%AEMGmax) で表された.

得られた床反力データから, 接地および離地を判断した. すなわち, 床反力が 50 N を超えた地点を接地とし, 50 N を下回った地点を離地とした. 床反力データは, ローパスフィルタ (4 次のバターワースフィルタ, カットオフ周波数: 30 Hz) をかけた. 平滑化後の各条件において得られたデータは加算平均し, それを各条件の代表値とした. その際, 予測不可条件において提示される矢印の方向が分かる試行 (最後の 1 試行, 上矢印あるいは下矢印のいずれかの矢印が全て提示された後の試行) や不自然な動作で実施された試行のデータは分析から除外した. 矢印提示の時間は, 矢印の提示を示す 5V の矩形波が出た地点とした. 平滑化後の床反力データから, 鉛直成分の最大床反力, 滞空時間および接地時間を算出した. 跳躍高は, 滞空時間から次式を用いて算出した; 跳躍高 = $1/8 \times g \times \text{滞空時間}^2$. ドロップジャンプの跳躍高を接地時間で除したドロップジャンプ指標を算出した. レッグスティフネスは, 体重当たりの鉛直成分の床反力 (kN) を接地から COM 最下点までの COM の変位 (m) を除した値 (Hobara et al. 2008) とした.

ハイスピードカメラから得られた画像の反射マーカの座標データは, 画像分析ソフト (FrameDias, DKH 社製) を用いて算出した. 各座標データを実長換算し, ローパスフィルタ (4 次のバターワースフィルタ, カットオフ周波数: 8 Hz) によって平滑化した (Hobara et al. 2008). 平滑化後の座標データから股関節, 膝関節および足関節の角度を算出した. 関節角度は, 鉛直方向の床反力および COM に基づいて, 接地前 100

ms の平均, 接地時, COM 最下点, および離地時の 4 つ局面において分析した(図 6). なお, 股関節および膝関節は解剖学的正位を, 足関節は完全底屈位を 180 度とした.

いずれの測定データも, 接地時を 0 として表した. 筋電図および床反力データは, MATLAB(The MathWorks 社製)で作成したプログラムを用いて分析を行った.

7. 統計処理

ドロップジャンプ時の各パフォーマンスにおける条件間の有意差を調べるために, 繰り返しのある 1 元配置分散分析を行った. F 値が有意な場合には, ボンフェローニ法による多重比較を行い, 条件間の有意差を検定した. 体幹および下肢筋群の%AEMGmax の有意差を明らかにするために, 繰り返しのある 2 元配置分散分析(条件×局面)を行い, 要因ごとの主効果および交互作用を調べた. 要因の主効果が有意で, 有意な交互作用が認められなかった場合には, ボンフェローニ法による多重比較を行った. 有意な交互作用が認められた場合には, 要因ごとに単純主効果の検定を行った. 統計量は, 平均値および標準誤差(SE)で表した. いずれの分析も, 統計処理ソフト(STATISTICA 10, StatSoft, Inc., USA)を用いて行った. 有意水準は, 5%未満とした.

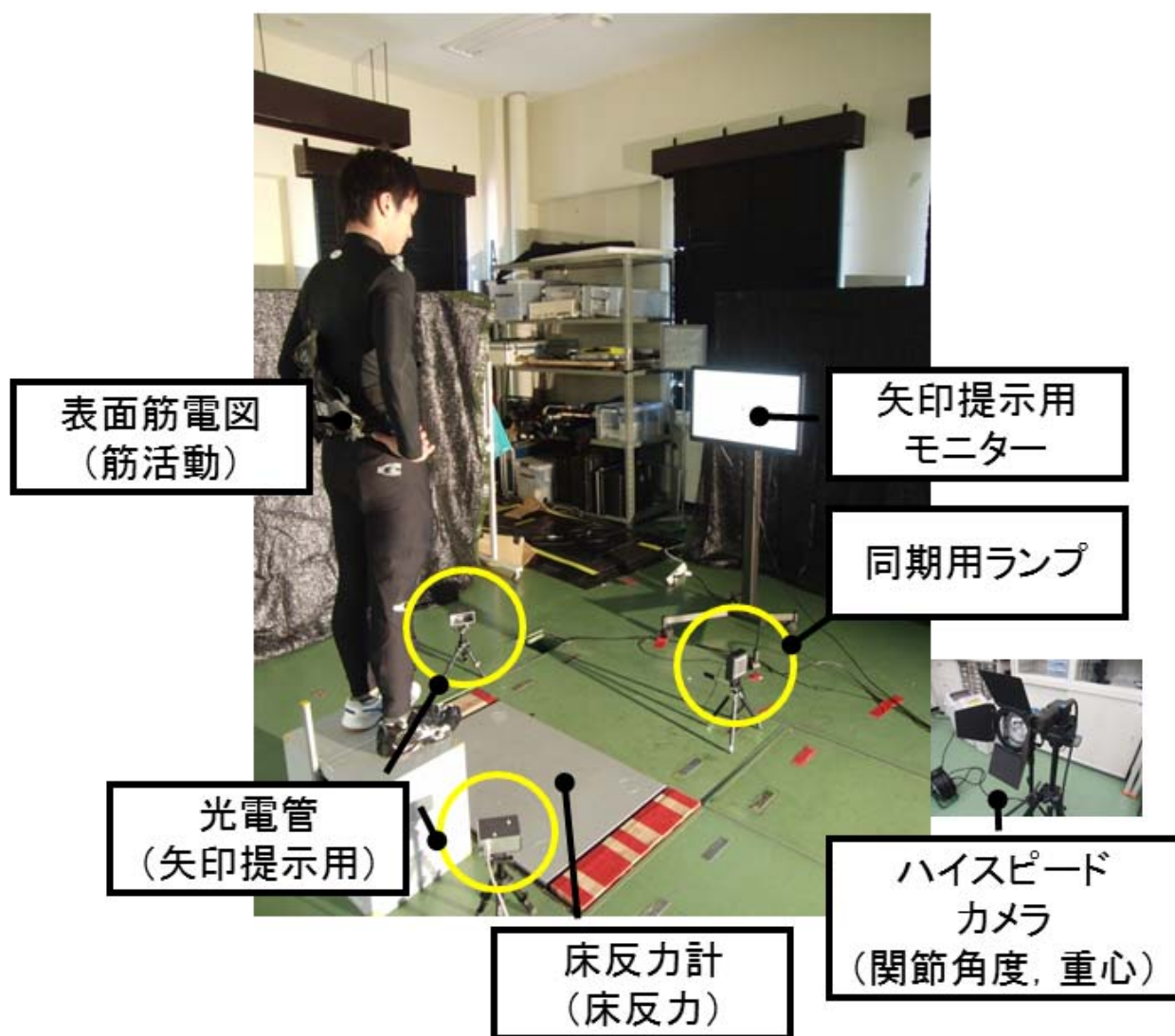


図1 実験設定

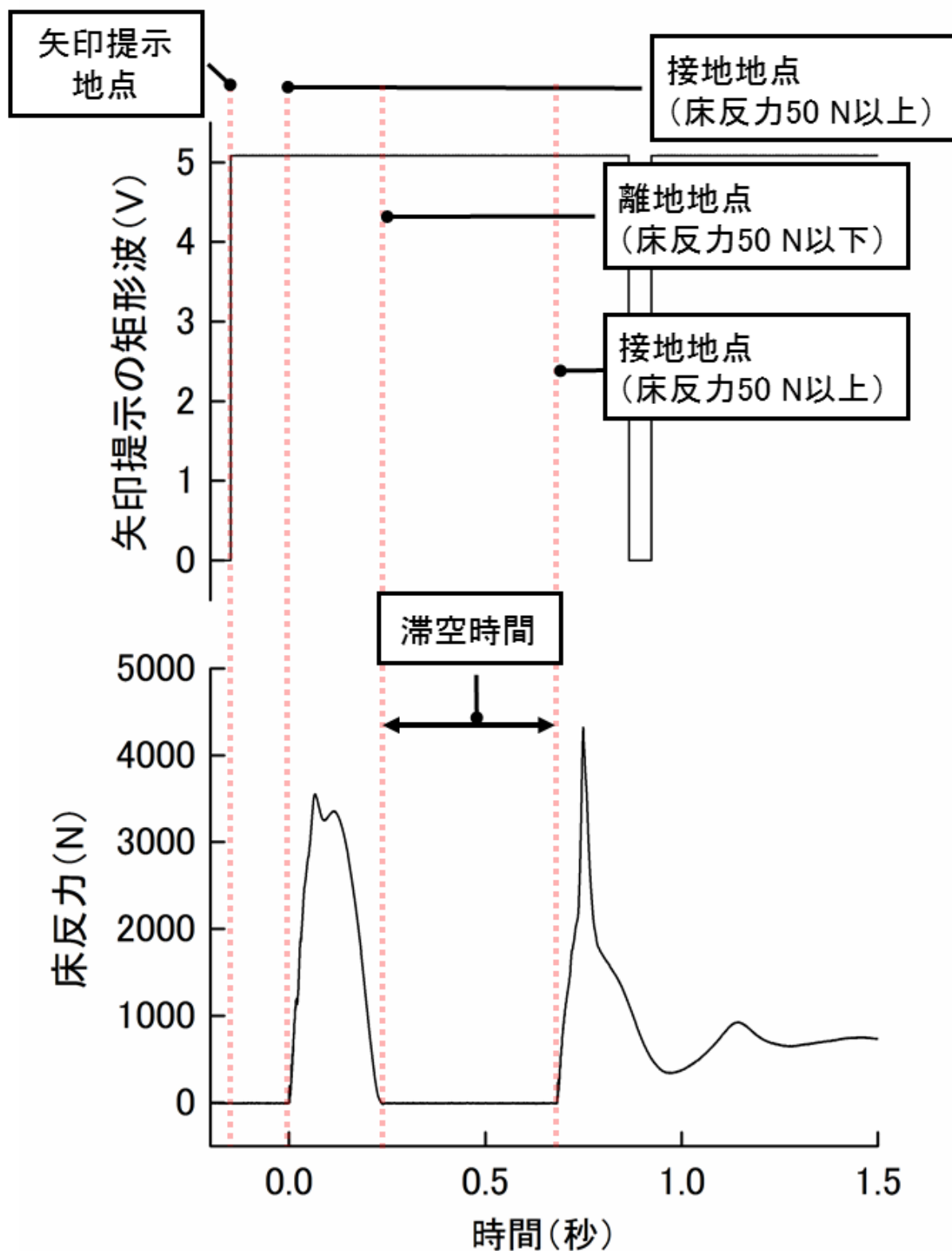


図2 床反力データの分析

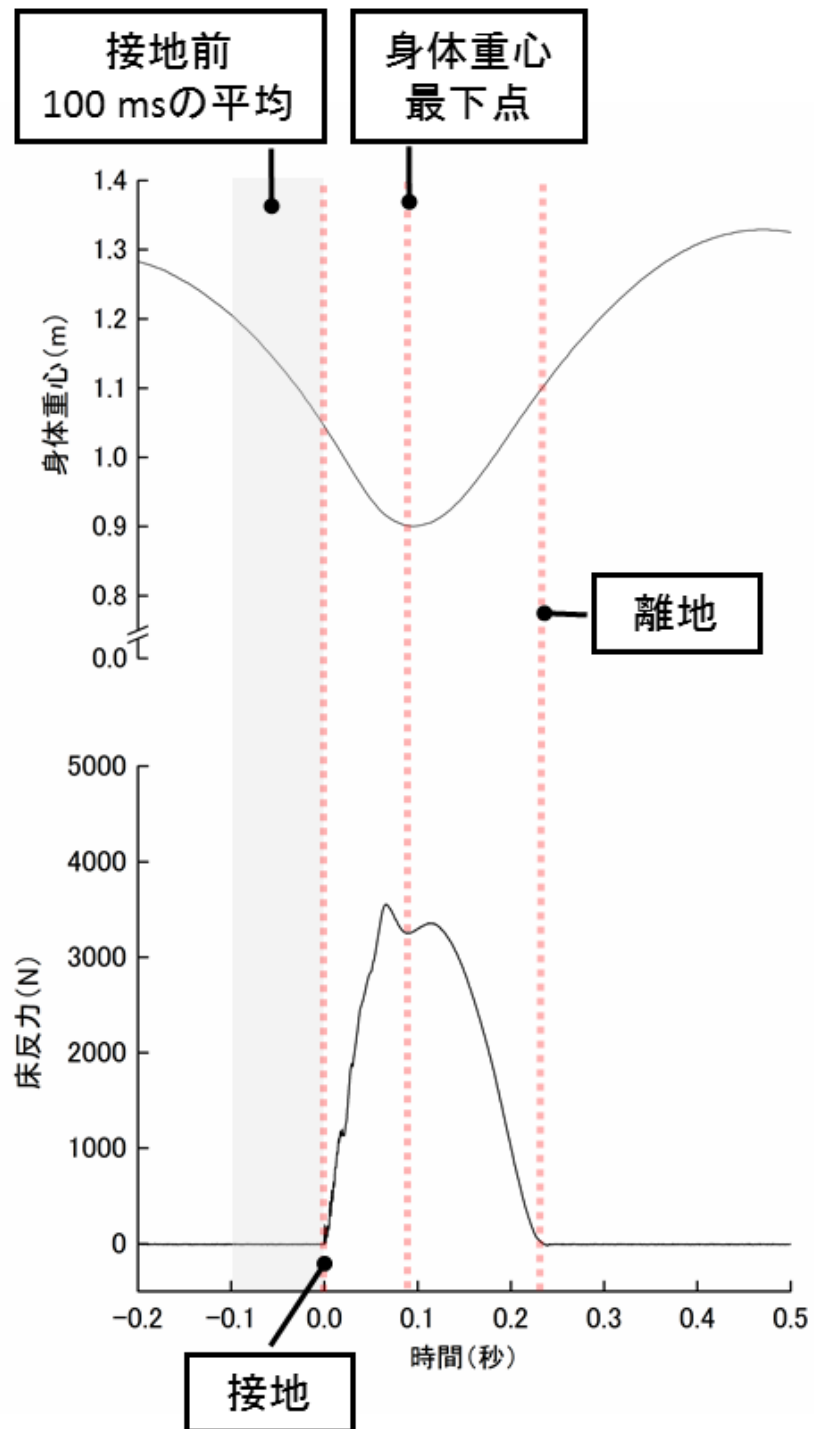


図3 キネマティクスデータの分析

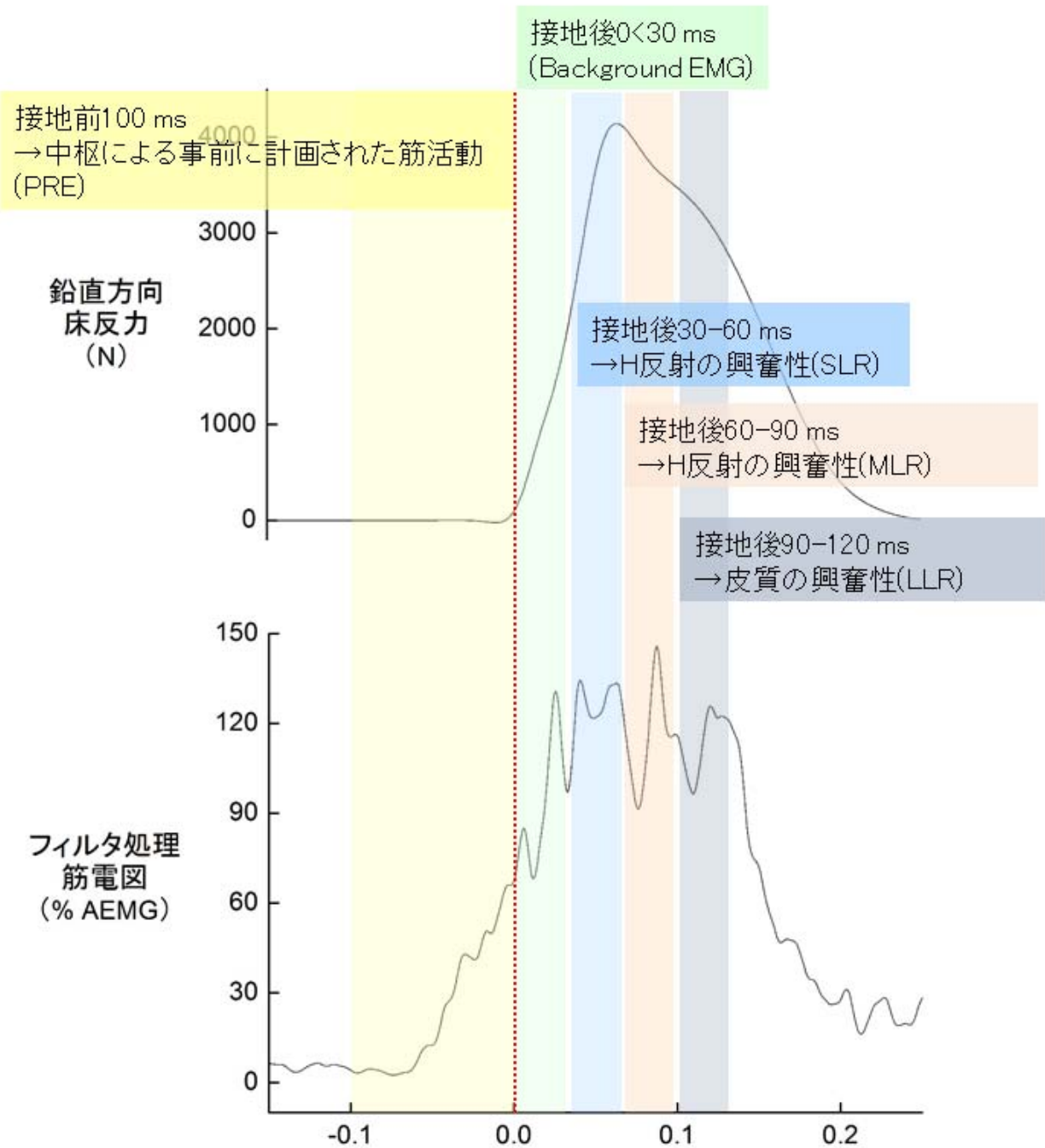


図4 筋電図の分析

III 結果

1. 予測の可否がドロップジャンプのパフォーマンスに与える影響

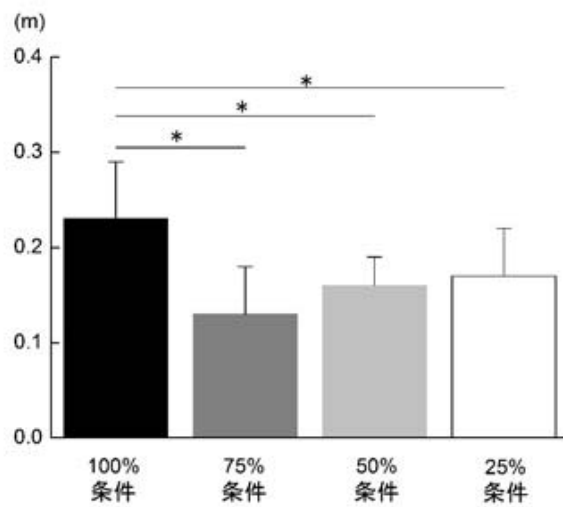
矢印が提示されてから接地までの時間は、4つの条件間で有意な差は認められなかった(100%条件— 0.152 ± 0.016 秒, 75%条件— 0.159 ± 0.015 秒, 50%条件— 0.151 ± 0.013 秒, 25%条件— 0.146 ± 0.012 秒). 図5に、ドロップジャンプ時のパフォーマンスにおける条件間の比較を示した. 100%条件のドロップジャンプ時の跳躍高, ドロップジャンプ指数, レッグスティフネスおよび最大床反力(図6)は、他の3つの条件よりも有意に高い値であった. 100%条件の接地時間は、他の3つの条件と比較して短かった. 予測不可条件間にはいずれも有意な差は認められなかった.

2. 予測の可否が関節角度および身体重心に与える影響

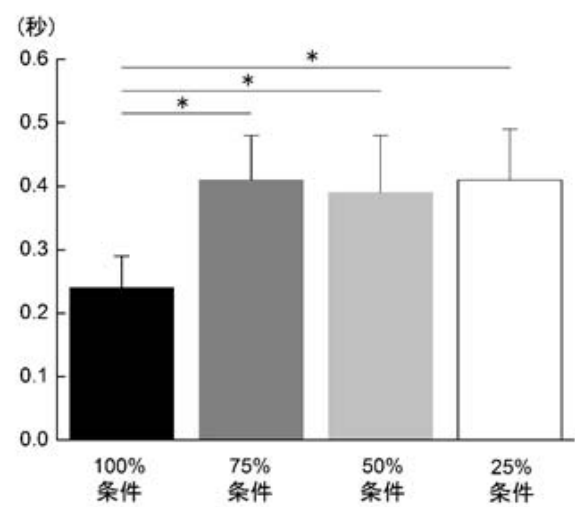
図7に、各条件のドロップジャンプ時の関節角度および身体重心を示す. 股関節角度は、身体重心最下点で100%条件が他の条件と比較して有意に大きかった. 膝関節角度は、接地時および身体重心最下点で100%条件が他の条件よりも有意に大きかった. 足関節角度は、身体重心最下点で、100%条件が他の条件よりも有意に大きかった. 予測不可条件間では、いずれの関節にも有意な差は認められなかった.

3. 予測の可否が体幹および下肢筋群の筋活動に与える影響

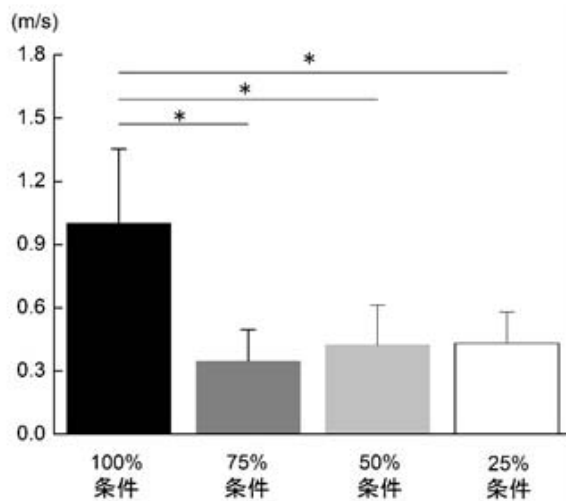
図8から図10に、体幹および下肢筋群の筋活動を示す. 図に示されているように、100%条件では、接地前100 msから筋活動が起こり、接地後90 ms以内で筋活動が高くなった. 一方で、予測不可条件では、接地前100 msで筋活動が減弱する筋がみられ、接地後90 ms以内での筋活動も100%条件と比較するとほとんどの筋で減弱していた. 前脛骨筋では、他の筋とは観察された傾向が異なり、接地後120 ms以内の筋活動は、予測不可条件で高かった. 図11に、条件間に有意な差が認められた筋を、局面ごとに示している. 大殿筋および外側広筋では、接地前の100 msの筋活動が、100%条件と比較して予測不可条件で有意に低かった. 接地後30 ms以内では、中殿筋、大殿筋、大腿直筋、外側広筋、腓腹筋内側頭、外腹斜筋で100%条件の筋活動が、他の条件よりも有意に高かった. 接地後30 msから60 msでは中殿筋、大殿筋、大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋、腓腹筋内側頭、ヒラメ筋、内腹斜筋で、100%条件の筋活動が他の条件よりも有意に高かった. 接地後60 msから90 msでは大殿筋、大腿直筋、外側広筋、腓腹筋内側頭、ヒラメ筋で予測不可条件の筋活動は、100%条件と比較して有意に低かった. 接地後90 msから120 msでは、ほとんどすべての筋で、100%条件の筋活動が、予測不可条件よりも有意に高かった. 前脛骨筋のみ予測不可条件のほうが100%条件よりも筋活動が高かった. 予測不可条件では、前脛骨筋を除いて、条件間に有意な差は認められなかった.



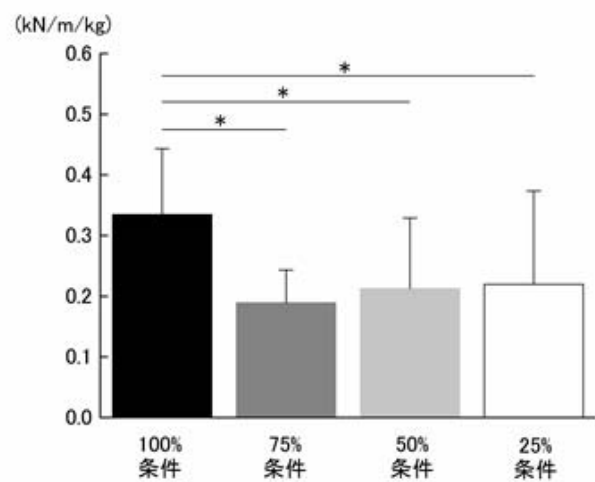
跳躍高



接地時間



ドロップジャンプ指数



レッグスティフネス

図5 ドロップジャンプ時のパフォーマンスにおける条件間の比較

* $P < 0.05$

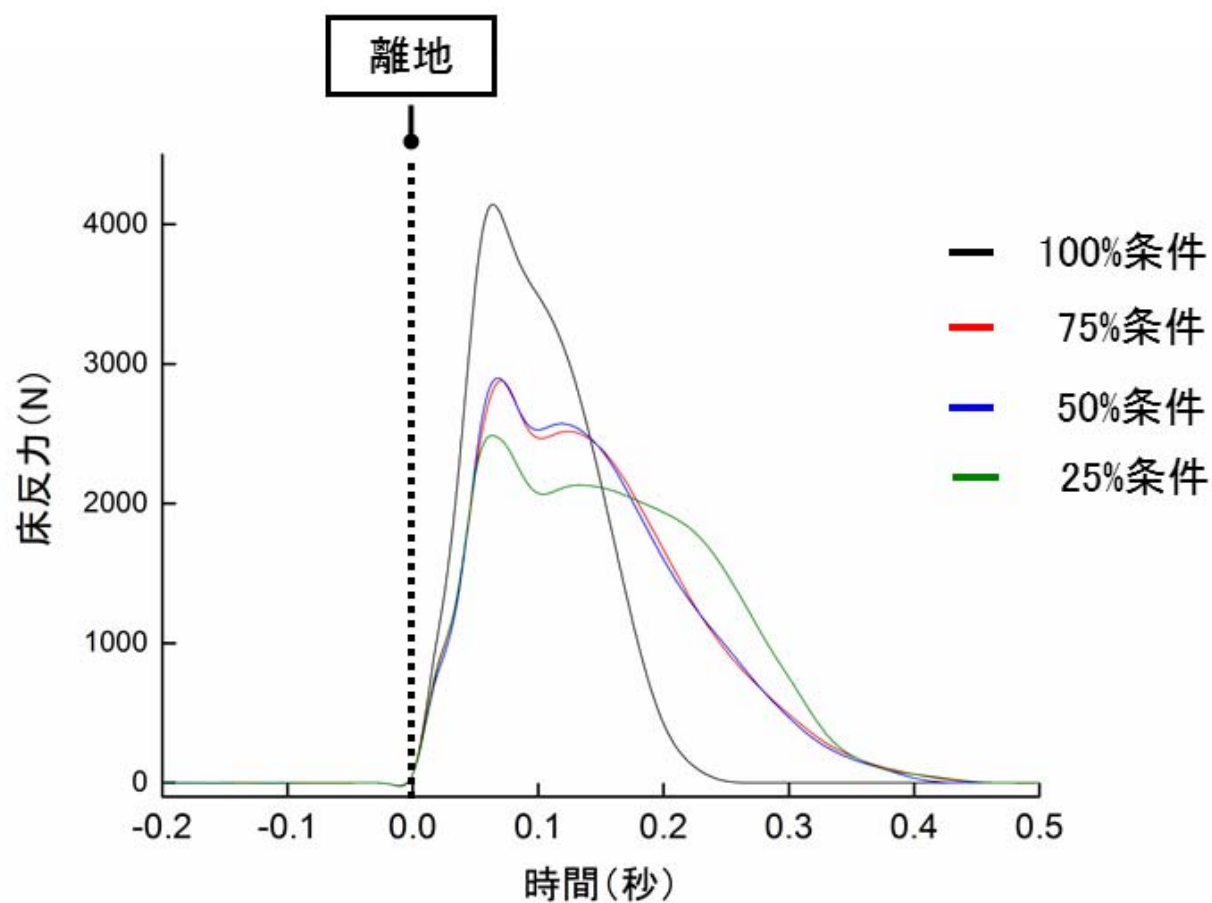


図6 各条件のドロップジャンプ時の床反力

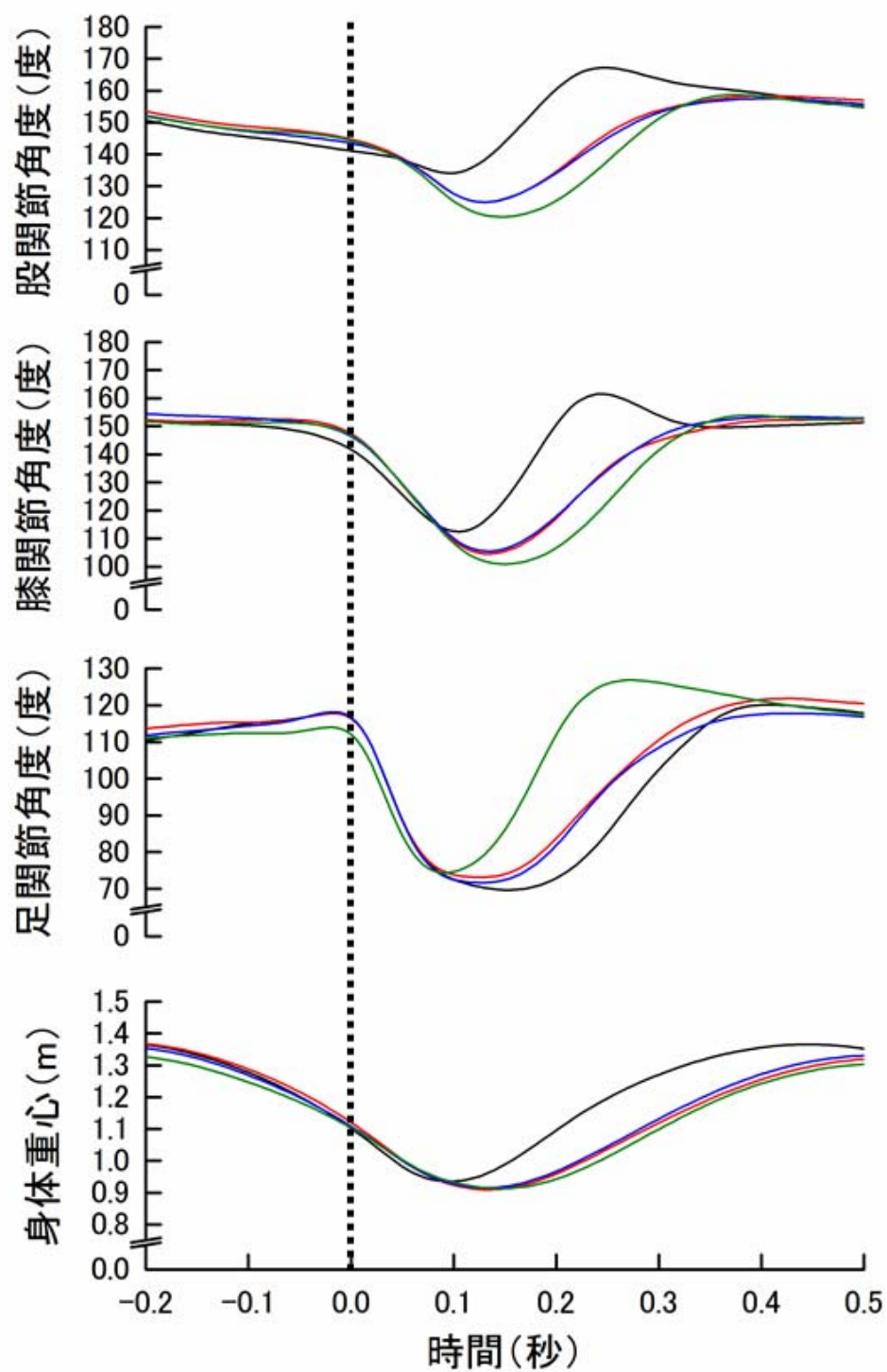


図7 各条件におけるドロップジャンプ時の関節角度および身体重心

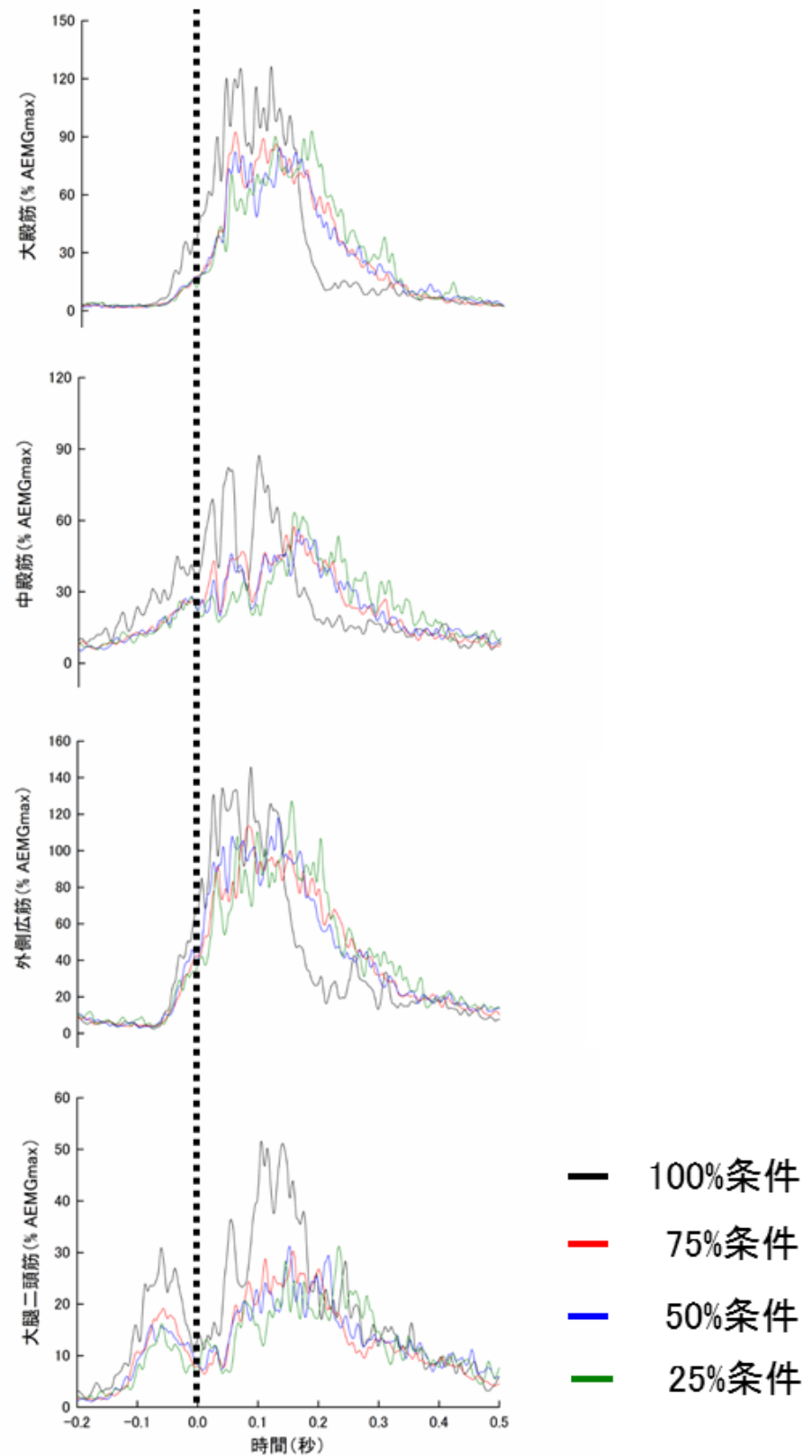


図8 各条件のドロップジャンプ時の下肢筋群の筋活動

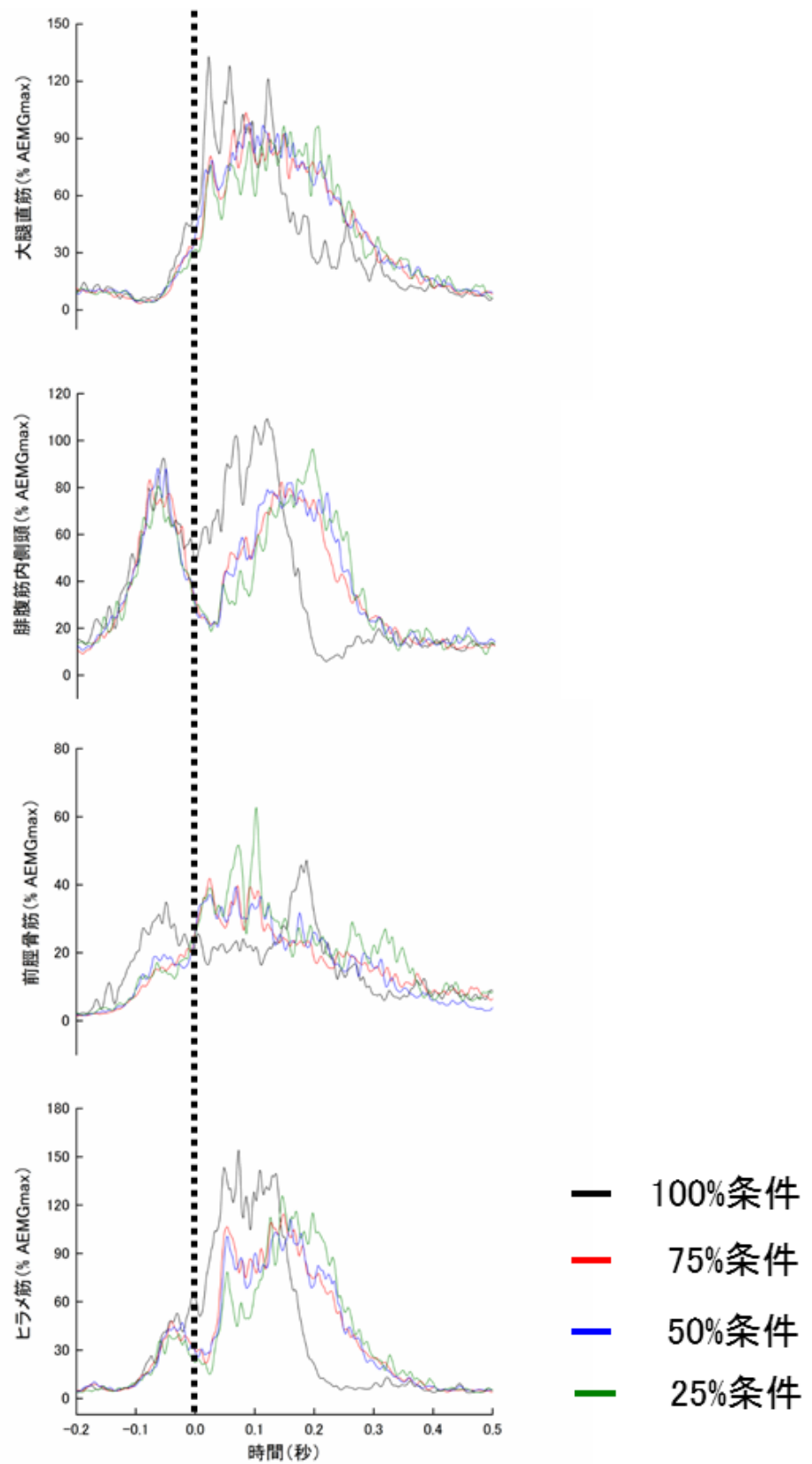


図9 各条件のドロップジャンプ時の下肢筋群の筋活動

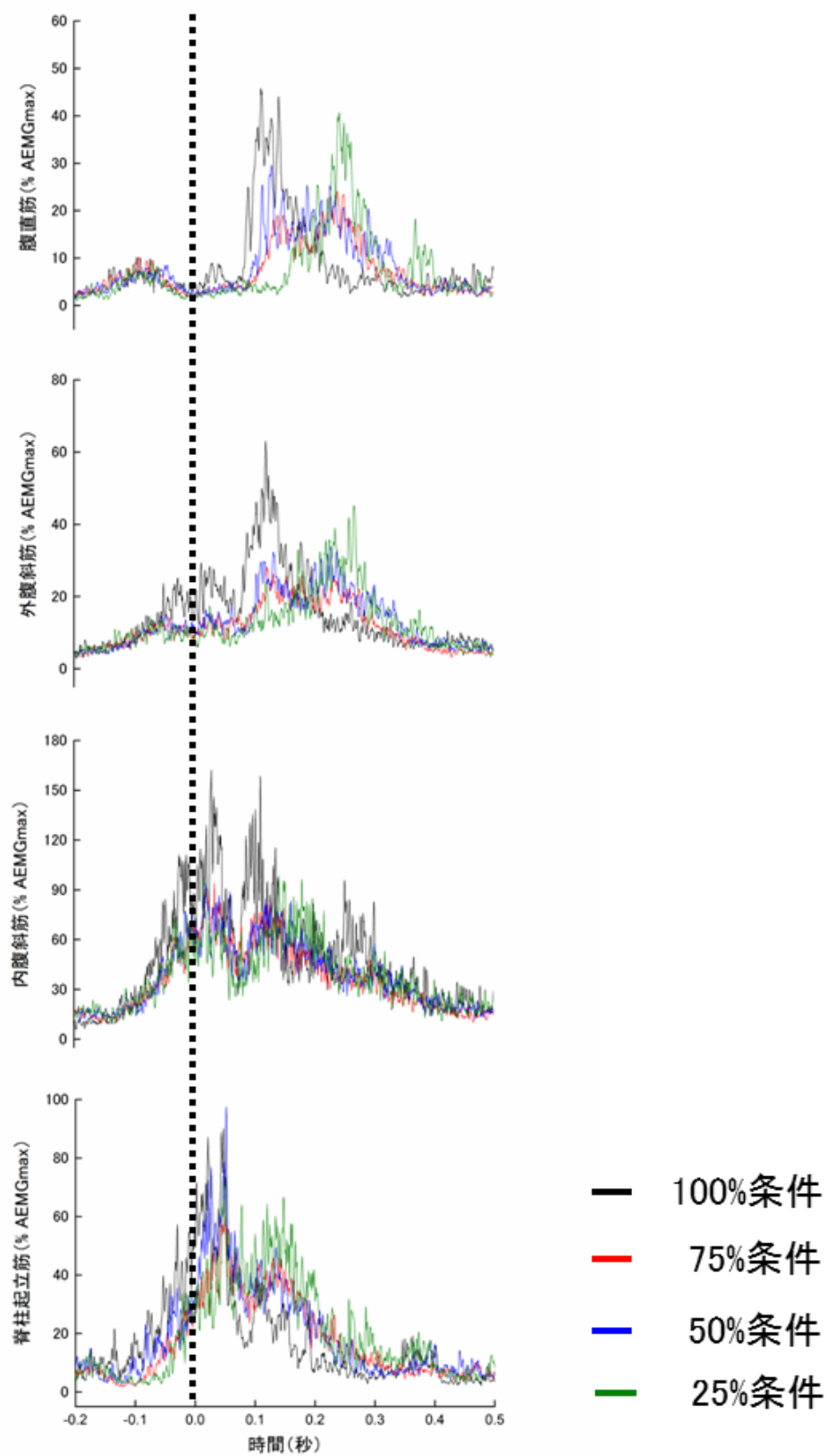
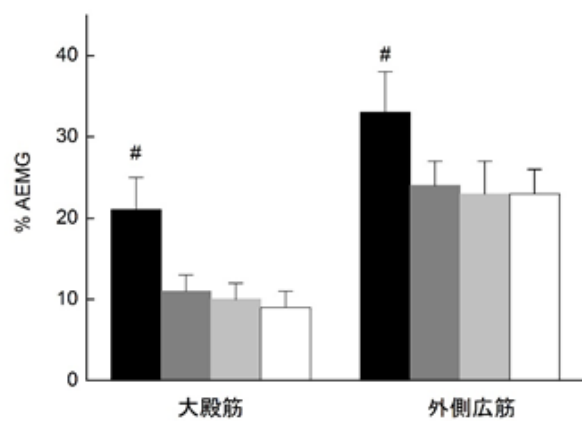
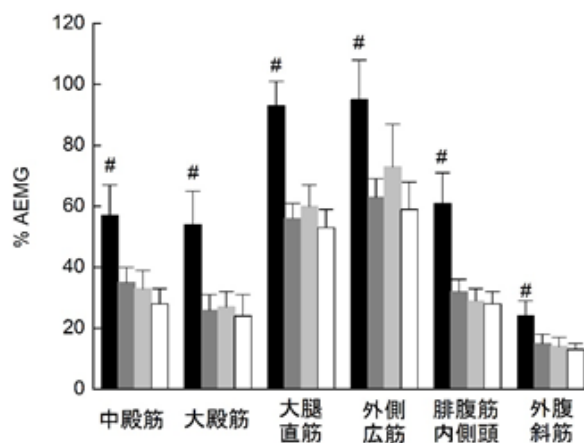


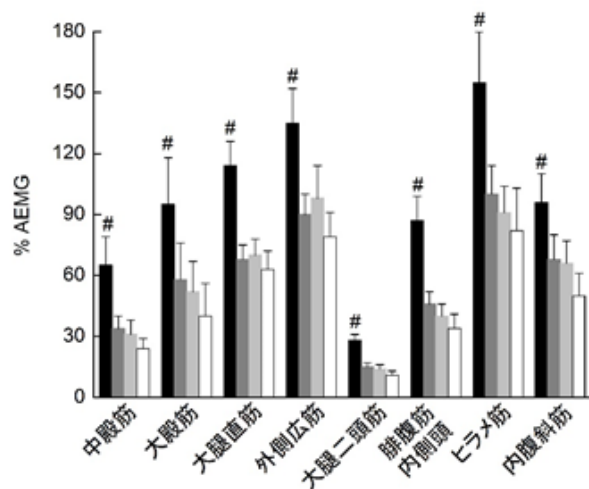
図10 各条件のドロップジャンプ時の体幹筋群の筋活動



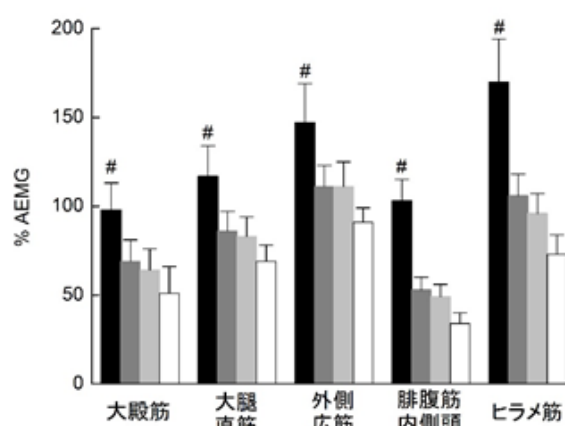
接地前100 ms



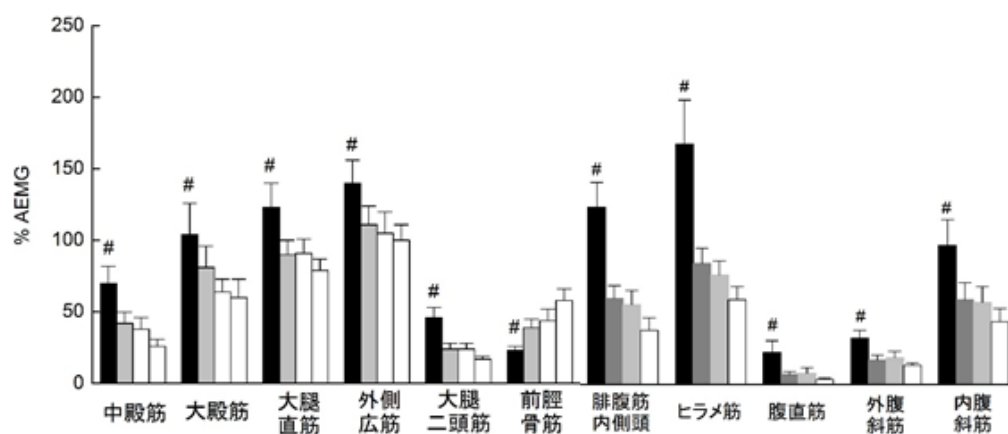
接地後-30 ms



接地後30-60 ms



接地後60-90 ms



接地後90-120 ms

図11 ドロップジャンプ時の局面別筋活動における条件間の比較

IV 考察

本研究で得られた知見は、予め先に行う動作を計画し実行する状況(予測可能条件)と先に行う運動を予測しにくい状況(予測不可条件)を比較した場合、予測不可条件でのドロップジャンプのパフォーマンスは、予測可能条件のそれよりも減弱し、体幹および下肢筋群の筋活動は、接地前および接地期に条件間で異なることが明らかとなった。本研究の結果は、予め先に行う動作が予測しにくい状況では、動作パフォーマンスを減弱させる体幹および下肢筋群の神経筋活動の制御が行われることを示している。

本研究で用いた 100%条件でのドロップジャンプは、台から落下し、地面に接地後、素早く跳躍動作へ移行するジャンプである(Bobbert, 1990, Young et al., 1995)。そのような動作は、下肢筋群の筋腱複合体に SSC と呼ばれる活動状態を生む(Baker and Nance 1999)。SSC は、(a) 予備緊張状態にある筋腱複合体が (b) 伸張(伸張性局面)された後、(c) 短縮(短縮性局面)することと定義され、短縮性収縮あるいは伸張性収縮のみの場合と比較して、弾性エネルギーの蓄積とその利用により高いパワーの発揮が可能になる(Voigt et al. 1998)。本研究では、100%条件でのドロップジャンプ時の体幹および下肢筋群の筋活動は、先行研究で報告されているような接地間前 100 ms および脊髄由来の筋活動成分(短潜時および中潜時)での筋活動が観察された(図 8-10)。このことは、本研究で対象とした被検者が課題動作を適切に行っていたことを示すものである。

Komi and Gollhofer(1997)は、SSC 運動のパフォーマンス増大に必要な条件として、①伸張性局面前における筋の適切な予備緊張(preactivation)、②急速な伸張性局面、③伸張性局面から短縮性局面へのすばやい移行の 3 つを挙げている。まず、本研究では、preactivation に該当する接地前 100 ms 局面での筋活動は、大殿筋および外側広筋において 100%条件よりも予測不可条件で減弱した。レッグスティフネスは、100%条件が他の条件よりも有意に高かった。接地前の下肢筋群の preactivation は、反動を用いた垂直跳び時の下肢のスティフネスと関連し(Liu et al., 2006)、下肢スティフネスを高めることはジャンプ時の弾性エネルギーの蓄積と利用を高める(McBride and Snyder, 2012)。これらのことから考えると、preactivation 局面での大殿筋および外側広筋の筋活動の減弱が、下肢スティフネスの低下に影響した可能性が考えられる。

次に、本研究では、ドロップジャンプの接地時に脊髄由来の筋活動成分が起こると言われている(Horita et al., 1996; Taube et al., 2008)接地後 30 ms から 90 ms までの間の局面で、体幹および下肢筋群の多くで筋活動が減弱した。この局面では、筋が急速に伸張されるため伸張反射が刺激され、筋活動が増強する(Harman et al., 1990; Bobbert et al. 1996)。伸張反射による筋活動の大きさは、SSC 運動時のパフォーマンスと関連する(Komi and Gollhofer, 1997)ことから、本研究の動作パフォーマンスの減弱は、この局面での体幹および下肢筋群の筋活動の減弱が影響している可能性がある。

また、本研究では、接地時に関節角度が予測不可条件でより屈曲し、身体重心がより深くしゃがみこみ、接地時間が 100%条件と比較して他の条件では長くなった。このことは、伸張性局面から短縮性局面への素早い移行が行われなかったと推察できる。この局面の時間が長くなれば、伸張性局面で蓄積されたエネルギーは熱として失われ(Bosco and Komi 1979)、短縮性局面での筋活動は伸張反射による増強効果を得ることができない(Cavagna 1977)。伸張されることによる増強効果は、筋の伸張速度の増加に依存し、伸張性局面から短縮性局面に移行する時間を縮小する(Edman et al. 1978)。また、Arampatzis et al.(2001)は、ドロップジャンプ時の接地時間の長さが下肢スティフネスに影響することを報告している。これらのことから考えると、予測不可条件では接地時の急速な伸張性局面での体幹および下肢筋群の筋活動が減弱したことによって、伸張性局面から短縮性局面に移行する時間が長くなり、その結果下肢スティフネスを高めることができなくなった可能性がある。

本研究の結果では、予測不可条件では、予測可能条件と比較して体幹および下肢筋群の筋活動は減弱した。この結果は、接地前に聴覚刺激に反応してドロップジャンプを行わせた Leukel et al. (2012) の結果とは一致しなかった。彼らは、予め被検者に音が鳴ることを通知する条件と通知しない条件では、通知しない条件でヒラメ筋の活動が増大することを示している。このような先行研究の不一致の理由については明らかにすることができないが、反応する刺激(視覚 vs. 聴覚)の違いによるものなのかもしれない。

本研究では、いずれの変数にも予測不可条件間で有意な差が認められなかった。刺激の提示確率が高ければ、それに対応する反応課題の反応時間は短縮され、低ければ延長される (Remington 1969) ことから、本研究でも先行研究と同様の結果が生じると予想された。予測不可条件における出現率の影響がみられなかった要因としては、課題動作の特異性が考えられる。本研究では、課題動作としてドロップジャンプとランディングを採用した。この両課題動作はまったく異なる動作ではなく、ドロップジャンプの過程にランディングが含まれる。そのため、まずランディングを遂行し、その後に提示刺激に従い、そのままランディングを維持するか、あるいはジャンプへ移行するかを選択は、刺激提示の出現率の違いに関係なく十分可能であったと考えられる。つまり、両課題動作においてランディングは共通の動作であるため、被検者にとっては「上矢印が出たらジャンプする」という単純な反応課題になってしまっていた可能性がある。予測不可条件の場合に、刺激呈示から接地までの時間は約 150 ms、接地からランディングを遂行する時間(接地から身体重心が最小になるまでの時間とする)は約 160ms であった。光刺激による全身反応時間の動作開始時間(大脳皮質からのインパルスが筋に到達するまでの速さ)は、一般成人では約 180 ms であると報告されている(猪飼ら, 1961)。したがって、仮に本実験課題を単純反応課題と仮定した場合に、矢印提示からランディングの遂行時間である約 310 ms の間に、呈示された矢印を認識し、ジャンプするかしないかの判断は刺激呈示のいずれの条件においても容易であったと予想され、結果的に出現率の違いによる影響は生じなかったと考えられる。

V 結論

本研究では、予め先に行う動作を予測しにくい状況でのドロップジャンプ時のパフォーマンスは、予め先に行う動作を予想できる状況のそれよりも減弱し、その減弱は、それらの状況間での体幹および下肢筋群の神経筋活動の低下が関与していることが明らかとなった。

参考文献

- Arampatzis, A., Schade, F., Walsh, M. and Bruggemann, G.P. Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *J Electromyogr Kinesiol.* 11. 5: 355-364. 2001
- Baker, D. and Nance, S. The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *J Strength Cond Res.* 13. 3: 230-235. 1999
- Blackburn, J.T. and Padua, D.A. Sagittal-plane trunk position, landing forces, and quadriceps electromyographic activity. *J Athl Train.* 44. 2: 174-179. 2009
- Bobbert, M.F. Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Med.* 9. 1: 7-22. 1990
- Bobbert, M.F., Gerritsen, K.G., Litjens, M.C. and Van Soest, A.J. Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med Sci Sports Exerc.* 28. 11: 1402-1422. 1996
- Bosco, C. and Komi, P.V. Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol Scand.* 106. 4: 467-472. 1979
- Cavagna, G.A. Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exerc Sport Sci Rev.* 5: 89-129. 1977
- Edman, K.A., Elzinga, G. and Noble, M.I. Enhancement of mechanical performance by stretch during tetanic contractions of vertebrate skeletal muscle fibres. *J. Physiol.* 281: 139-155. 1978
- Harman, E.A., Rosenstein, M.T., Frykman, P.N. and Rosenstein, R.M. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc.* 22. 6: 825-833. 1990
- Hobara, H., Kimura, K., Omuro, K., Gomi, K., Muraoka, T., Sakamoto, M. and Kanosue, K. Differences in lower extremity stiffness between endurance-trained athletes and untrained subjects. *J Sci Med Sport.* 13. 1: 106-111. 2008
- Horita, T., Komi, P.V., Nicol, C. and Kyrolainen, H. Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: implications to performance. *Eur J Appl Physiol.* 88. 1-2: 76-84. 2002
- Komi, P.V. and Gollhofer, A. Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC-exercise. *J. Applied Biomechanics.* 13. 4: 451-460. 1997
- Leukel, C., Taube, W., Lorch, M. and Gollhofer, A. Changes in predictive motor control in drop-jumps based on uncertainties in task execution. *Hum Mov Sci.* 31. 1: 152-160. 2012
- Liu, Y., Peng, C.H., Wei, S.H., Chi, J.C., Tsai, F.R. and Chen, J.Y. Active leg stiffness and energy stored in the muscles during maximal counter movement jump in the aged. *J Electromyogr Kinesiol.* 16. 4: 342-51. 2006
- McBride, J.M. and Snyder, J.G. Mechanical efficiency and force-time curve variation during repetitive jumping in trained and untrained jumpers. *Eur J Appl Physiol.* 112. 10: 3469-3477. 2012
- Remington, R.J. Analysis of sequential effects in choice reaction times. *J Exp Psychol.* 82. 2: 250-257. 1969
- Taube, W., Leukel, C. and Gollhofer, A. How neurons make us jump: the neural control of stretch-shortening cycle movements. *Exerc Sport Sci Rev.* 40. 2: 106-115. 2012
- Young, W.B., James, R. and Montgomery, I. Is muscle power related to running speed with changes of direction? *J Sports Med Phys Fitness.* 42. 3: 282-288. 2002

- Voigt, M., Dyhre-Poulsen, P. and Simonsen, E.B. Modulation of short latency stretch reflexes during human hopping. *Acta Physiol Scand.* 163. 2: 181–194. 1998
- Young, W.B., Pryor, J.F. and Wilson, G.J. Effect of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *J Strength Cond Res.* 9. 4: 232–236. 1995