論文要旨

ヒトは直立姿勢を保つために体内の様々な器官の働きを利用している。立位の場合には、前庭覚、視覚および体性感覚をはじめとする種々の感覚情報の神経中枢への入力・統合の後、脊髄を介して、効果器である筋の収縮となる。この様な回路は、運動学習またはトレーニングを介して、パフォーマンスの向上に寄与していると考えられる。従来、直立姿勢を制御するメカニズムに関し、Nashner (1976) が「Ankle and Hip Strategy」を提唱して、姿勢制御の研究がより深まった。そして、体力づくりや転倒予防への応用例が広く報告されている。しかし、姿勢制御の中心的課題の一つである動的バランス (dynamic balance) のトレーニングに関しては十分に検討されていないのが現状である。そこで本研究では、2つの実験を設定して研究を進めた。1つは可動性のあるプラットフォームを用い、ヒトの直立位におけるバランス能力を各種運動種目と関連づけて評価し、その差異を検討することである。第2は、動的バランスのトレーニングがバランスパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにし、且つ、トレーニングおよび脱トレーニングの影響を検討することである。

実験1：「運動種目の違いからみた動的バランス能力の差異について」

実験は、不安定プラットフォームを用いて、運動種目の異なる各競技選手の動的バランス姿勢における体の平衡維持時間 (balance keeping time: BKT) を調べることを目的とした。被検者は台湾 T 県にある SK 高校に所属する 8 種目の運動部の男子学生 76 名を対象とした。計測方法としては、先ず、ヒノキ材を使用した特製の不安定プラットフォーム (幅 40cm、長さ 60cm、厚さ 4 cm、重さ 4.5kg) を用い、被検者をプラットフォーム上に裸足で立たせると同時に、両足を左右に肩幅位に開き自然な直立姿勢をとらせた。支持台の支持摩擦係数は約 0.15 と想定された。また、より正確な平衡維持時間を測るため、著者が開発したデジタル計数システムを使用した。データの統計処理には一元配置分散分析を使用し、その後テューキーの検定法を用いた。その結果、① 投擲選手の BKT はトラック ($P < 0.001$)、アーチェリー ($P < 0.01$)、ボーリング ($P < 0.01$) よりも有意に大きい値を示した。② バスケットはトラック ($P < 0.017$) およびアーチェリー ($P < 0.037$) よりも有意に大きい値を示した。③ さらに、剣道はトラック ($P < 0.029$) よりも有意に大きかった。一方、フェンシングおよび野球は他の種目との間に有意差はなかった。以上の結果を考察すると、本実験で得られた各運動種目選手の平衡維持時間には大きな差異が認められた。特に回転運動に関係していると考えられる投擲の選手では他種目の選手より大きな値が得られた。すなわち、投擲種目のハンマー投げや砲丸投げでは回転動作が比較的多く見られ、この回転刺激が常に平衡器官を刺激して適応能が得られた結果であると考えられる。また、トラックの選手はバスケットおよび剣道よりも有意に小さい値を示した。トラックのような運動様式では選手は持続的な直線加速度の影響を受けることが多いため、直線運動刺激に対して適切な運動姿勢をとることが鍛えられる。同時に、今回の実験で見たものは左右下肢間の切り換え能力であることもこの結果に影響していると考えられる。本実験でもう一つ注目されるのは、立ち姿勢で抗重力環境に長期間曝されているアーチェリー選手の平衡維持時間である。アーチェリー選手の平衡維持時間は剣道より有意に小さかった。アーチェリー選手のような立位運動種目では、立ち姿勢での訓練によって視覚系からのフィードバックの補償や前庭覚による前庭脊髄反射のような静的平衡反射が増強されている反面、足関節や股関節での外乱刺激に対応する能力が養われていないためと考えられる。

総括的に述べれば、それぞれの運動種目には異なった運動特性があり、それらは単純なものから複合的なもの迄あるので、運動種目によって平衡維持時間の異なる原因の一つとして、運動種目によって身体に作用する加速度の種類と大きさの異なることが考えられる。

実験 2 : 「動的バランスのトレーニングおよび脱トレーニングの影響」

本実験では、可動的プラットフォームを用いた動的バランスのトレーニングによってバランスパフォーマンスにどのような影響があるのかを調べ、引き続き、その後の脱トレーニングの影響を検討することである。被検者は C 大学体育学部に所属する 35 名の健康な男子大学生を対象とし、まず、トレーニング群(訓練群)と訓練しないコントロール群 (C 群) に大別した。トレーニング群は更に 3 群 (週 1 日トレーニングの W1 群、週 2 日トレーニングの W2 群、週 3 日トレーニングの W3 群) に区分した。可動的プラットフォームは山本 (1983) の開発したものをを用いた。被検者をプラットフォーム上に裸足・開眼の条件で、腕を自然に懸垂して立たせた。足の位置に関しては、身体の重心がプラットフォームを支えているシャフト上にくるように足の位置を決めた。そして、両足の間隔は被検者が立ち易いような位置としたが、それはほぼ肩幅に近かった。計測項目としては、まず、平衡が破れる迄の平衡維持時間 (BKT) を計測した。同時に、プラットフォームの角速度の変化を記録するために、ゴニオメーターを水平軸の先端に設置した。さらに頭部の前後方向の動きを計測するために、加速度計を頭部額に付けた。BKT 以外のパラメータの測定時点は訓練前 (Pre-training)、訓練後 (Post-training: Post)、脱トレーニング 9 週目 (DT9-W) と脱トレーニング 21 週目 (DT21-W) の 4 時点とした。統計分析は一元配置分散分析、二元配置分散分析およびテューキーの検定法を用いた。その結果、以下のようなことが明らかとなった。(1) トレーニング効果として、① まず、訓練後各バランスパフォーマンスの平衡維持時間増加量 (Δ BKT) を 4 群間で比較した結果、訓練後では C 群よりも W2 群 ($P < 0.01$) および W3 群 ($P < 0.05$) の方が有意に大きくなった。同時に、W2 群と W1 群 ($P < 0.01$) の間、W3 群と W1 群 ($P < 0.05$) の間にも有意差が認められた。しかし、W2 群と W3 群の間には有意差はなかった。② トレーニング後のプラットフォーム角速度の変化 (Δ RMS A.V.) には、4 群間で有意差は認められなかったが、W2 群は W1 群に比較して減少する傾向があった。③ トレーニング後の頭部加速度の変化 (Δ RMS H.A.) においては、C 群よりもトレーニング 3 群 (W1 群、W2 群、W3 群) の方が統計的に有意に高かった。以上の結果を考察すると、本条件下において動的バランス能力を獲得するためには、週 1 日だけのトレーニングでは効果はなく、少なくとも 2 日 / 週或いは 3 日 / 週の頻度が必要なことが示唆された。また、 Δ BKT がトレーニングによって増加する事象の背景には姿勢の調整様式に変化の起こっている可能性がある。プラットフォームの動き (Δ RMS A.V.) に顕著な変化は見られなかったが、W2 群でやや減少傾向が見えたので、姿勢調整様式も変化するのかもしれない。この可能性は頭部の動き (Δ RMS H.A.) から支持されよう。すなわち、W 群の Δ RMS H.A. はトレーニング直後に C 群に比べて、有意に増加した。このことは、バランスをとるのに Nashner (1976) が提唱する Ankle and Hip Strategy の内 Hip Strategy がより強く使用されてくることを意味する。

(2) 脱トレーニング効果に関し、① トレーニングによって W2 群および W3 群の Δ BKT は C 群より有意に増加することは上述したが、このトレーニング直後の群間の有意な差異は脱トレーニング期間中ほとんど変わらなかった。そして、脱トレーニング中の群内比較を行なったところ、3 時点間で有意な差は認められなかった。② また、 Δ RMS A.V. では 4 群間に有意な差はなかったが、DT21-W の時点で C 群に比べて W2 群でやや減少する傾向が見られた。③ Δ RMS H.A. に関しては、トレーニング直後に見られた C 群に比べて W 群での有意な増加は、DT9-W および DT21-W で消失していた。これらの結果を考察すると、トレーニングによって獲得された動的バランス能力はトレーニングを中止しても少なくとも 21 週間は減衰しないでそのまま保持され、それによって姿勢調整様式も変化すること、すなわち上体の動きが減少していくことが示唆された。そして、これは Boyke et al (2008) の主張する運動による脳内の関連部位の肥大化を伴っている可能性も示唆している。

本研究ではシーソー様の不安定プラットフォームを用いて、二つの違ったパターンで動的バランス能力

を検証した。その結果、まず競技者の運動様式の違いにより引き起こされたと考えられる動的バランスの維持時間の差異を明らかにすることができた。また、動的直立姿勢時でのバランス能力をトレーニングすることによってバランスパフォーマンスを向上できることも検証した。さらに、トレーニングによって増強した動的バランス能力は、トレーニングを停止した21週間後も減衰することなく保持されていたことから、神経的要素が深く関与していることが示唆された。本研究はスポーツにおける平衡性を開発する際、新しいトレーニングの視点を与え、また、転倒予防などを介してリハビリテーションの分野にも貴重な貢献を可能にするものと考えられる。