

学位論文題名

ウォーミングアップが
最大作業のパフォーマンスへ及ぼす影響

学位論文内容の要旨

本研究は、最大作業において高いパフォーマンスを発揮するための適したウォーミングアップ（以下 W-up）を模索する目的で行われた。一連の研究では、W-up が最大作業のパフォーマンスに及ぼす影響とその背景となる生理的な応答を測定し、より効果的な W-up を検討した。

研究 1 では、W-up が引き起こす生理的な応答が最大作業のパフォーマンスに影響を及ぼすことを検証した。被験者は健康な男子大学生 7 名とし、60% $\dot{V}O_{2peak}$ 強度のサイクリング運動によって W-up を行う条件（WU）と、W-up を行わない条件（NWU）を行った。WU では W-up 終了 5 分後に主運動を開始し、NWU は一切の W-up を行わずに主運動を開始した。主運動は 100% $\dot{V}O_{2peak}$ 強度でのサイクリング運動であり、その持続時間をパフォーマンスとした。W-up 前から実験終了までを通じて外側広筋温と直腸温、呼気ガスを測定した。また、主運動中に外側広筋より筋電図と活動筋での酸素動態が測定された。さらに、主運動開始 1 分後、3 分後、主運動終了時に耳朶より採血を行い、血中乳酸値を測定した。結果として、主運動の継続時間は NWU と比較して WU で有意に延長した ($p < 0.001$)。WU で運動持続時間が長くなった背景には、W-up が活動筋への酸素供給を増大させ、 $\dot{V}O_2$ のベースライン上昇や運動開始時のすばやい $\dot{V}O_2$ の立ちあがりにつながったことがあげられる。また、血中乳酸増加率は W-up によって有酸素性のエネルギー代謝が増加したことを示した。さらに、主運動中の筋電図から WU では神経-筋活動が効率的であったことも運動持続時間の延長に関与していたと推察できる。これら生理的な変化には筋温や体温が上昇したことも関わっており、W-up による生理的な変化がパフォーマンス向上に寄与することを裏付けるものであった。

研究 2 では、乳酸閾値 (LT) に一致する強度、LT より低い強度、LT より高い強度の 3 条件の W-up を行い、最大作業のパフォーマンス向上につながる W-up 強度を検討した。被験者は健康な男子大学生 7 名とした。W-up は LT 強度、LT の 50% に相当する強度 (50%LT)、血中乳酸値が 4mmol/l に相当する強度 (OBLA) に相当する強度のそれぞれで 15 分間のサイクリング運動とした。被験者は W-up 終了 5 分後に主運動を開始した。主運動は 100% $\dot{V}O_{2peak}$ の強度におけるサイクリング運動とし、その持続時間をパフォーマンスとした。また、研究 1 と同様

に外側広筋温と直腸温，呼気ガス，筋電図，活動筋での酸素動態が測定された。さらに，W-up 前，主運動開始直前，主運動終了時に耳朶より採血を行い，血中乳酸値を測定した。結果として，LT の W-up は 50%LT の W-up よりも主運動の持続時間が有意に長かった ($p < 0.05$)。しかし，LT と OBLA，50%LT と OBLA の間には主運動持続時間について有意差は認められなかった。50%LT よりも LT で主運動持続時間が長くなった理由としては，体温上昇が十分であり $\dot{V}O_2$ が早期に立ち上がっていたこと，活動筋での酸素化動態の変化，筋活動の効率化等が関与していたと考えられる。反対に 50%LT での W-up は体温上昇が十分ではなく，パフォーマンスを改善するに足りるだけの W-up 強度ではなかった。また，主運動持続時間において OBLA は LT と有意差が認められなかったが，W-up の強度が高過ぎ，疲労した状態で主運動が開始されていた可能性がある。また，OBLA は 50%LT と主運動持続時間に差が認められなかったため，W-up として適切とは言えなかった。

研究 3 では，W-up の距離と強度の積を一定にする場合，すなわち W-up の総仕事を同一にして強度だけを変化させた場合について実験を行い，効果的な W-up を検証した。被験者は健康な男子大学生 7 名とした。W-up は，LT では 15 分間とし，50%LT，OBLA では負荷と時間の積が LT で 15 分間の負荷と時間の積と同じになるように設定した。被験者は W-up 終了 5 分後に主運動を開始した。主運動は $100\% \dot{V}O_{2peak}$ の強度におけるサイクリング運動とし，その持続時間をパフォーマンスとした。また，研究 2 と同様に外側広筋温と直腸温，呼気ガス，筋電図，活動筋での酸素動態，血中乳酸値が測定された。結果として， $100\% \dot{V}O_{2peak}$ の強度における最大持続時間に W-up 条件間で有意差は認められなかった。したがって，50%LT から OBLA の範囲であれば，W-up を LT で 15 分間と同じにすることで，この種の最大作業のパフォーマンスは同程度に発揮できる。また，主運動開始時の筋温と直腸温，主動筋での EMG に W-up 条件間で有意差は認められず， $\dot{V}O_2$ においても条件と時間において交互作用は認められなかった。故に W-up は生理的にも同等の効果があったことが推察される。しかしながら，被験者 7 名中 5 名が 50%LT での W-up において最大作業の持続時間が最短となった。多くの被験者が 50%LT で最短の運動持続時間となった理由のひとつに $\dot{V}O_2$ や活動筋での酸素動態が亢進あまり起こっていなかったことが考えられ，50%LT より低い強度での W-up は長時間行っても最大作業のパフォーマンス改善にはつながらない可能性が示された。

以上，一連の研究より，W-up による最大作業の持続時間延長には，活動筋への酸素供給増大や全身 $\dot{V}O_2$ の立ち上がり早期化，有酸素的なエネルギー供給の増大，効率的な神経-筋活動が関与していたことが明かとなった。至適な W-up の強度や時間は，W-up 後の主運動形態や強度，あるいは対象者によっても異なることが考えられる。しかし， $100\% \dot{V}O_{2peak}$ の最大作業持続時間延長のためには，50%LT や OBLA で 15 分間の W-up よりも LT で 15 分間の W-up が適していることがいえる。さらに，50%LT から OBLA の強度であれば，LT で 15 分間と同

じ総仕事であれば同じようにパフォーマンス向上が期待できる。ただし、50%LT よりも低い強度では総仕事と同じであったとしてもパフォーマンス改善には至らないことが示唆された。この結果は、競技者または指導者にとって最大作業において高パフォーマンスを発揮させるための W-up 強度・時間の指標となる。また、W-up には障害予防の効果もあるため、W-up が必要であることを示したことはスポーツの安全性を確保する上でも重要であろう。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 石 井 好二郎

副 査 教 授 水 野 眞佐夫

副 査 教 授 川 初 清 典 (高等教育機能開発総合
センター)

副 査 教 授 山 地 啓 司 (新潟医療福祉大学健康
科学部)

学 位 論 文 題 名

ウォーミングアップが 最大作業のパフォーマンスへ及ぼす影響

本論文は、最大作業において高いパフォーマンスを発揮するために適したウォーミングアップ(以下 W-up)を模索している。一連の研究では、W-up が最大作業のパフォーマンスに及ぼす影響と、その背景となる生理的な応答を測定することで、より効果的な W-up を明らかにすることを試みている。

第 1 章では、W-up に関する先行研究について文献的検討を行っている。その結果、W-up によるパフォーマンスの向上に対する生理的な影響については、状況証拠的な研究がほとんどであり、パフォーマンスと生理的指標を同時測定した研究が極めて少ないことを指摘している。また、最大作業のパフォーマンス改善につながる W-up の強度や時間が明らかではないことを述べ、本論文において検討すべき課題を説明している。

第 2 章では研究 1 として、W-up の有無による最大作業のパフォーマンスと生理的応答を同時に測定することで、W-up によるパフォーマンス向上効果と生理的な背景を結びつけることを試みた。W-up によりパフォーマンスが向上した背景には、活動筋への酸素供給増大や主運動開始時のすばやい酸素摂取量の上昇、神経・筋活動が効率的になること等が関与したとしている。

第 3 章では研究 2 として、W-up の強度を乳酸閾値程度、乳酸閾値の 50%、血中乳酸値が 4mmol/l に相当する強度 (OBLA) のそれぞれ 15 分間とした場合について、最大作業のパフォーマンスと

生理的応答について検討している。乳酸閾値の W·up は乳酸閾値 50%の W·up よりも主運動のパフォーマンスが向上したことを認めた。しかし、乳酸閾値と OBLA、乳酸閾値 50%と OBLA にはパフォーマンスの差がなかった。乳酸閾値 50%よりも乳酸閾値でパフォーマンスが向上した理由として、体温上昇が十分であり酸素摂取量が早期に上昇していたこと、活動筋での酸素化動態の好ましい変化、筋活動の効率化等の関与を明らかにしている。反対に乳酸閾値 50%での W·up は体温上昇が十分ではなく、パフォーマンスを改善するに足りるだけの W·up 強度ではないとした。また、OBLA は W·up 強度が高過ぎるために疲労した状態で主運動を開始していた可能性があり、W·up として適切ではないことを示唆している。

第 4 章では研究 3 として、W·up の距離と強度の積を一定にする場合、すなわち W·up の総仕事を同一にして強度だけを変化させた場合について実験を行っている。乳酸閾値で 15 分間の W·up と負荷と時間の積と同じになるよう、乳酸閾値 50%および OBLA の W·up を設定し、最大作業のパフォーマンスと生理的応答について検討した。その結果、最大作業のパフォーマンスに W·up 条件間で差は認められなかった。したがって、乳酸閾値で 15 分間の W·up と同じ仕事量であれば、乳酸閾値 50%から OBLA の範囲の W·up は、最大作業のパフォーマンスを同程度に発揮できることが明らかにされた。また、主運動開始時の筋温と直腸温、主動筋での筋電図に W·up 条件間で有意差は認められず、酸素摂取量においても条件と時間において交互作用は認められなかったため、各々の W·up は生理的にも同等の効果があったことが推察された。しかしながら、被験者 7 名中 5 名が乳酸閾値 50%での W·up において最大作業の持続時間が最短となり、その背景として、酸素摂取量や活動筋での酸素動態が亢進されていなかった可能性を示している。したがって、乳酸閾値 50%より低い強度での W·up は酸素摂取が亢進されず、長時間行っても最大作業のパフォーマンス改善にはつながらない可能性を述べている。

最後の第 5 章では一連の研究をまとめ、本研究の結果が最大作業において高パフォーマンスを発揮させるための W·up 強度・時間の指標となると述べている。また、W·up には障害予防の効果についても触れ、W·up が必要であることを示したことはスポーツの安全性を確保する上で重要であることを提言している。

なお、本論文の一部は、2 編の英文原著論文、1 編の和文全国誌原著論文、2 編の和文総説論文、4 編の著書として掲載されている。また著者は、全国学会より優秀発表賞（ランニング学会）と奨励賞（日本運動生理学会）を、本論文の一部を構成する内容から受賞されており、研究者としての外部評価も高い。

よって審査委員会は、著者を北海道大学博士（教育学）の学位を授与される資格があるものと認める。