

研究題目
**着衣泳技術に着目したフローティング・バイオフィードバック・システムの構築と
競技スポーツにおけるストレスマネジメントへの効果・応用に関する研究**

研究代表者名
塩野谷 明(長岡技術科学大学)

目 次

1. 要約
2. 緒言
3. フローティング・バイオ・フィードバックシステムの開発研究
 - 3-1. システムの概念設計
 - 3-2. 開発実験
 - 3-3. 結果
 - 3-4. 考察 - フローティング・バイオ・フィードバックシステムの構築
4. フローティングのストレス負荷に対する効果
 - 4-1. ストレス負荷実験
 - 4-2. 実験方法
 - 4-3. 結果
 - 4-4. 考察
5. 競技スポーツへのフローティングの応用・展開(今後の課題としての事例報告)
 - 5-1. 応用の方向性
 - 5-2. ケーススタディ1
 - 5-3. ケーススタディ2
 - 5-4. ケーススタディ3
6. 結言
7. 謝辞
8. 参考文献

研究題目

着衣泳技術に着目したフローティング・バイオフィードバック・システムの構築と 競技スポーツにおけるストレスマネジメントへの効果・応用に関する研究

研究代表者名 塩野谷 明
共同研究者名 三宅 仁・齋藤 秀俊・山川 竜平

1.要約

本研究では、ヒト生理情報と機械力学情報を同一ユニットで同期計測するための同期ユニット回路を作成し、両情報の同期計測システムを汎用性生体アンプ Polymate AP1132(TEAC 社製)を基盤として構築した。さらにこのシステムをフローティングに応用し、ストレスマネジメントのためのフローティング・バイオフィードバックシステムを開発した。開発に係る基礎実験において、ヒト生理情報として心電図・心拍変動の周波数解析から副交感神経活動指標として HF および交感神経活動指標としての LF/HF を導出し、フローティングが副交感神経活動を促進することを確認した。またサーミスタを介して呼吸曲線を検出、周波数解析に基づくそのパワースペクトラムよりフローティング時は呼吸が大きくかつ深くなることを確認した。機械力学情報としては、デジタルフォースゲージを介してフローティングをサポートするフローティングサポーターの(擬似)浮力を計測するシステムを構築するとともに、浮力が 275.0[N]と 550.0[N]の場合を比較、浮力と水の生理作用両方を受ける前者において副交感神経活動が優位になることを確認した。

さらに競技スポーツへの応用・展開を図るために、運動ストレス負荷に対するフローティングの効果について検証した。AT に基づいて交感神経活動を優位とする運動ストレスを負荷した後、フローティングによって副交感神経活動が回復することを確認した。

これら本研究の成果を受けて、今後の課題としてのケーススタディ(事例報告)として、

フローティング時の脳波計測から、フローティングでの副交感神経活動の優位性確保とともに、集中する傾向の可能性の示唆

競泳競技におけるウォーミングアップ時のフローティングからは、競技パフォーマンスの優れた者の副交感神経活動の優位性と、背景としての集中傾向の存在の示唆

競泳における練習後のフローティングにおける副交感神経活動の優位性の確認
を行なうとともに、今後に向けた継続研究課題とした。

以上ように本研究を要約する。

2. 緒言

競技スポーツでは、選手が競技会においてパフォーマンスを最大限に発揮することが重要な命題である。そのために、多面的なスポーツ科学的アプローチが行なわれている。スポーツ科学では当初、体力の向上(運動生理学)や技術の向上(スポーツバイオメカニクス)等といった身体的側面(Physical Parameter)に重きが置かれてきたが、近年は精神的(心理的)側面の重要性が高まり、スポーツ心理学等の分野において、イメージトレーニングやバイオフィードバック等々の手法を用いたパフォーマンス発揮のための実践的研究が行われている。競技会でのパフォーマンス発揮のためには、リラクゼーションやストレス(メンタル)マネジメントといった精神的側面に関与する管理能力を養う必要がある。また長年に渡る過度の身体的・精神的ストレスは例えば燃え尽き症候群の原因となったり、身体的にはパニック発作といった症状を引き起こすといった報告もあることからその対応は極めて重要な課題である。

本研究では、イメージトレーニングやバイオフィードバックの効果を増幅させる観点から着衣泳技術である水に浮く(フローティング)という技術に着目、これらに工学的技術を融合したフローティング・バイオフィードバック・システム(水に浮きながらイメージトレーニングやバイオフィードバックトレーニングの実施を可能とするシステム)を構築するとともに、選手のリラクゼーションやストレス(メンタル)マネジメントへの効果を検討することを目的とする。これまで水中では、浮力の関係等で重力から身体が解放されるとともに、副交感神経が優位となることが報告されるため、本システムはストレスマネジメントに有効な手段となることが考えられる。ここに工学的な技術を追加することで、より高い効果を齎すシステムの構築を目指すものである。さらに、フローティングを行なうことで身体的ストレスや運動による疲労からの回復効果の可能性についても検討していく。

このように、本システムは競技スポーツ選手が競技会で最大限のパフォーマンス発揮の支援を目的とするが、その開発は競技スポーツに留まらず昨今大きな社会問題となってきた一般人のメンタルヘルス対策への効果も期待して行なった。

3. フローティング・バイオ・フィードバックシステムの開発研究

3-1. システムの概念設計

前述のように、本システムは水中における副交感神経の優位性を、工学的技術を追加することでより効果の高いフローティングを目指すもので、そこでは浮力あるいはそれに類似される機械力学情報と心電図あるいはそれと同様のヒト生理情報の計測が必要となる。さらに、可能な限りこの両者は同一のユニットで計測できることが理想であるが、両者の周波数の違いからこれまでは同一ユニットによる計測はほとんど皆無であった。本システムでは両者の同期を可能とする同期ユニット回路を作成し、同一ユニットに

よる計測を可能とするとともに、より効果的なフローティングのためにヒト生理情報として心電図および呼吸曲線および機械力学情報として浮力計測の同期計測を行なう。図 1 に、本システムの概念設計図を示す。これはあくまで概念設計図であり、後述する完成システムとは異なるものである。

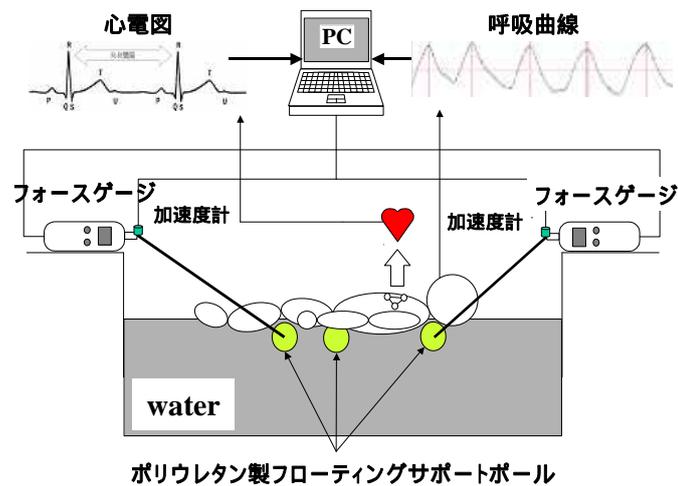


図 1: フローティング・バイオ・フィードバックシステムの概念設計図

3-2. 開発実験

本システムを開発するための基礎実験として、ヒト生理情報と機械力学情報の同期計測ユニットを構築し、それぞれの情報からフローティングのメンタルマネジメント効果を検討した。なお、本稿では最初に、各測定ユニット毎に測定・解析方法およびその結果についてまとめ、それらを総括する形で開発したフローティング・バイオフィードバック・システムの全体概要について報告する。

ヒト生理情報の計測は、前述のように心電図および呼吸曲線を対象とした。被験者は、健康な成年男子 5 名とした。実験に際しては長岡技術科学大学倫理委員会への申請を行い、承認を得た後実施された。被験者には 10 分間、水の浮力の影響や生理作用を受けないマット上での仰臥位安静と後述するフローティングサポートポール 10 本を並列させたフローティングサポーター上での仰臥位フローティングをそれぞれ行い、その間の心電図・心拍変動および呼吸曲線の計測を行なった。計測には、汎用性生体アンプ Polymate AP1132 (TEAC 社製) を用いた。また、心拍変動については競技スポーツへの応用を考慮し、Polar 社 Heart Rate Monitor (RS810 モデル) も併用し、導出した。生体アンプより検出される心電データはサンプリング周波数 2000 [Hz] で計測され、A/D 変換された後パーソナルコンピューターに取り込まれ、多用途生体情報解析システム BIMUTAS -A を用いて解析された (図 2)。

図 3 に心電図の解析方法を示す。心電図より、R-R 間隔の時系列変化を求め、それを FFT を用いて周波数解析を行なった。FFT の条件はハミング窓、FFT データ数を 8192 に設定した。得られた周波数成分中、0.04 ~ 0.15 [Hz] を LF (Low Frequency)、0.15 ~ 0.40 [Hz] を HF (High Frequency) として自律神経

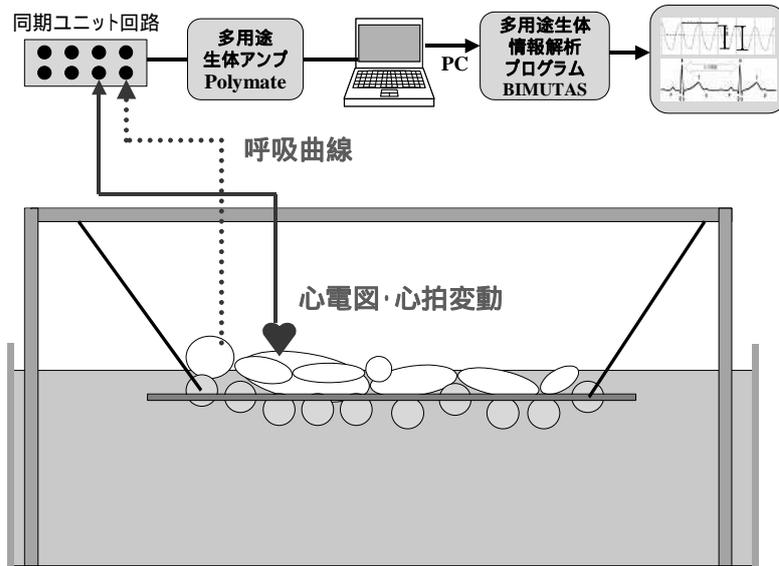


図 2: ヒト生理情報計測の概要

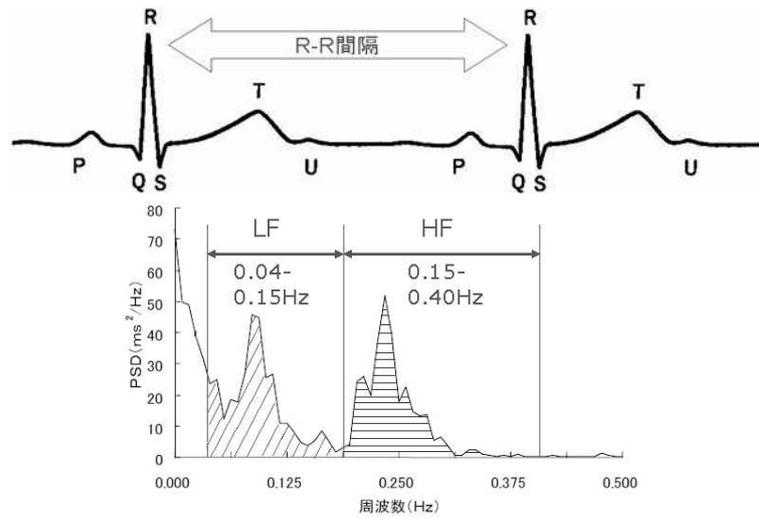


図 3: 心電図の解析方法

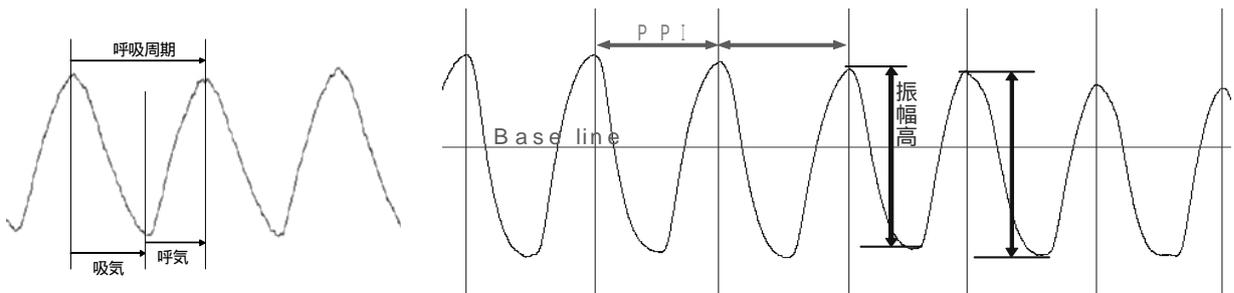


図 4: 呼吸曲線の検出と解析方法

系動態評価の指標とした。すなわち、周波数帯域の全面積に対する HF の面積比を HF (%)、また HF に対する LF の面積比を LF/HF (%) として、前者を副交感神経活動指標、後者を交感神経活動指標とした。

図 4 に、呼吸曲線の検出方法ならびに解析方法について示す。呼吸曲線はサーミスタを用い、呼吸・吸気に伴う温度変化を電圧値としてサンプリング周波数 200[Hz]で測定され、心電図同様 A/D 変換された後パーソナルコンピューターに取り込まれ、多用途生体情報解析システム BIMUTAS -A を用いて解析された。解析は、可視化された呼吸曲線のピークとピークの間隔を Peak to Peak Interval (PPI)、呼吸曲線のピークとボトムの間隔を振幅高として算出した。あわせて、FFT を用いて周波数解析を行なった。FFT の条件はハミング窓、FFT データ数を 8192 に設定し、1 エポックデータ時間を 40.96[sec]とした。以上の測定から、水の浮力や生理作用を受けない条件とそれらを受けるフローティングの比較を行なった。

機械力学情報の計測には、ヒト生理情報を検出する汎用性生体アンプ Polymate AP1132 (TEAC 社製) を基盤とし、ヒト生理情報との同期ユニット回路を介することで浮力等の機械力学情報の計測を可能とした。図 5 に、浮力計測の概要について示す (側面からの一方向であることに留意)。浮力の計測には、直方体様の骨格上部に装着された 4 つのデジタル・フォースゲージ (IMADA 社製 DPX-50T) を用いた。フローティングを支持するためのポリウレタン製サポートポール (密度 0.02kg/cm³) 集合体 (フローティングサポーター) の頭部および足部側の 2 本ポールの両端に、骨格上部よりワイヤーをとおし水中下の定滑車を介してデジタルフォースゲージ計 4 つを接続、各ポールに装着されたフォースゲージ値 (f) の合力を P_f として、これをポール 1 本の浮力 (P_f) と考え、以下の式よりサポーター全体の浮力 (F) を求めた (これは擬似浮力であるが、本稿では浮力として扱う)。

$$F = \sum P_f \dots \dots \dots 1)$$

また、フォースゲージとサポートポール間のワイヤーには一軸加速度 (PCB 社製 352) を装着し、浮力の重力方向への変化を検出した。これらの数値は、電圧値として内蔵された 16bit 方式の A/D 変換ボードから同期計測ユニットを介してパーソナルコンピューターに取り込まれ、前述の多用途生体情報解析システム BIMUTAS -A 上で生理情報と同期出力されるとともに解析が行なわれた。

機械力学情報の測定の被験者は、健康な成年男子 5 名とし、10 本のサポートポールを用いたフローティングサポーター上と 20 本用いたサポーター上でのフローティングを、それぞれ 10 分間行なった。測定中は、心電図を装着して浮力との同期計測を行ない、前述の多用途生体情報解析システム BIMUTAS -A 上で浮力とあわせて同期出力されるとともに解析が行なわれた。心電図からは、前述のように R-R 間隔の時系列変化を求め、その周波数解析によって HF、LF/HF を算出し、1) 式に基づく浮力の違いと自律神経系活動動態の関係について検討した。

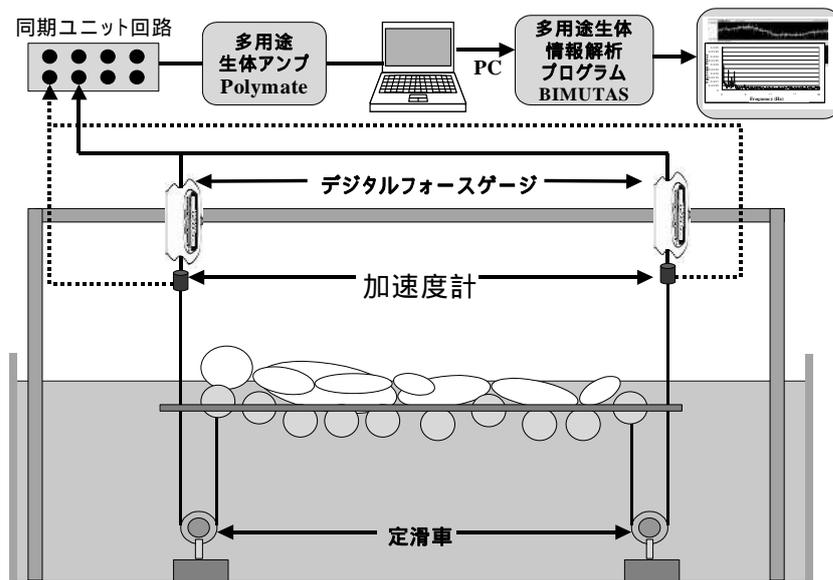


図 5: 浮力計測の概要

3-3. 結果

図 6 および 7 には, 10 分間のマット上での仰臥位安静(水の浮力や生理作用を受けない条件)およびフローティング時(水の浮力や生理作用を受ける)の HF(%), LF/HF(%) について被験者毎に示したものである。副交感神経系活動の指標である HF(%) は, 仰臥位安静で 2.52[%](SD = 1.34), フローティングで 5.0[%](SD = 1.54) となり, 5% 水準で有意な差が認められた (< 0.05)。これに対して, 交感神経系活動の指標である LF/HF(%) は, 仰臥位安静で 131.96[%](SD = 31.44), フローティングで 68.8[%](SD=21.96) となり, 5% 水準で有意な差が認められた (< 0.05)。

これらの結果より, フローティングではこれまで報告される水の浮力や生理作用の影響を受け, 自律神経系は副交感神経活動が優位となることが確認された。

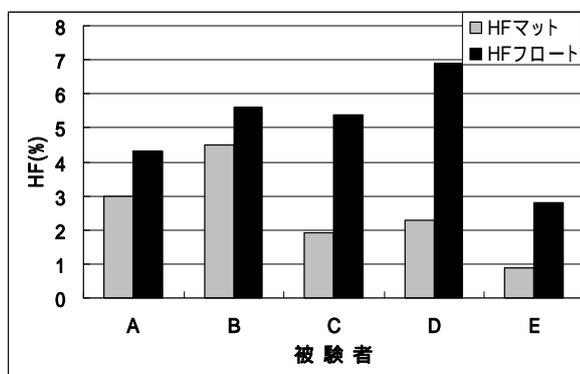


図 6: 仰臥位安静およびフローティング時の HF (%)

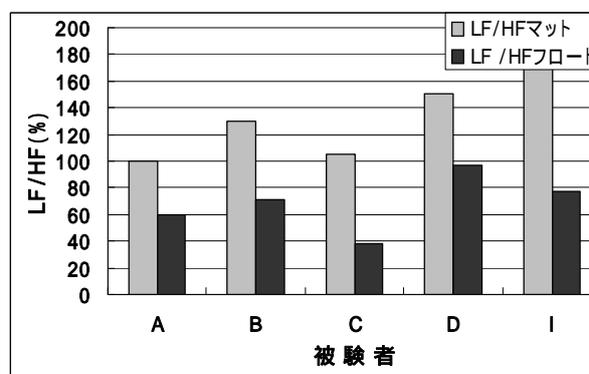


図 7: 仰臥位安静およびフローティング時の LF/HF (%)

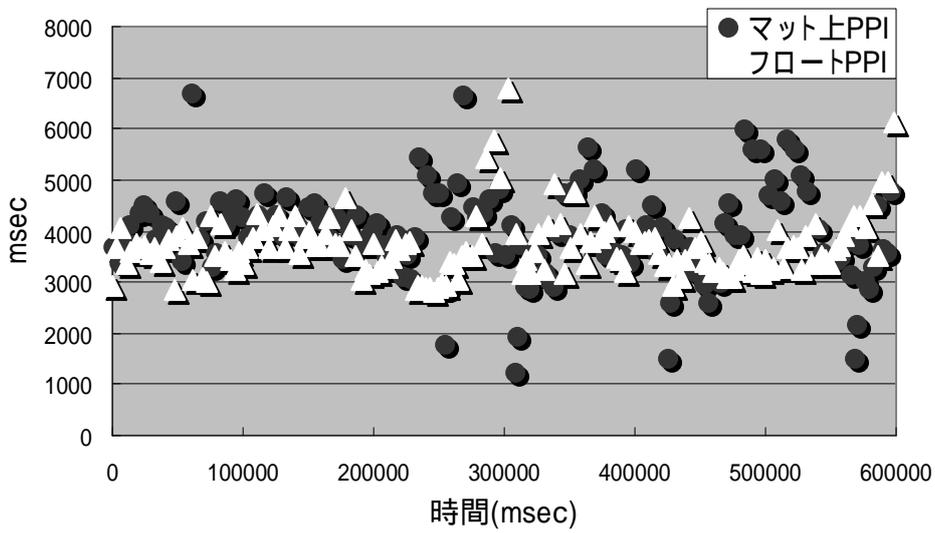


図 8: 仰臥位安()およびフローティング時()における
呼吸曲線の PPI の比較

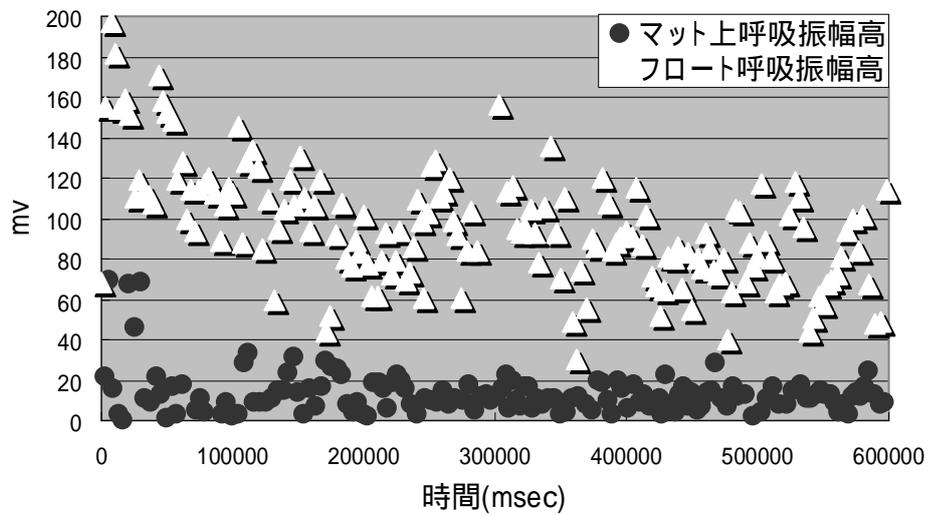


図 9: 仰臥位安静()およびフローティング時()における
呼吸曲線の振幅高

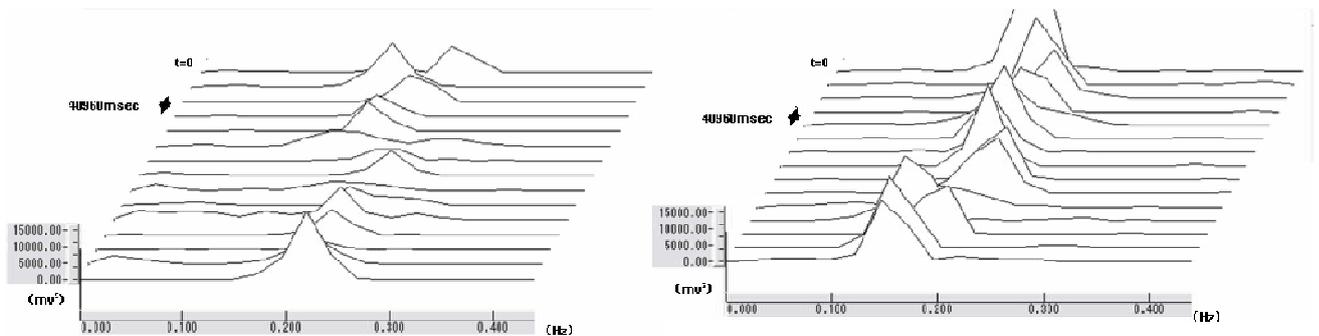


図 10(a) : 仰臥位安静(左図)およびフローティング時(右図)の呼吸曲線の周波数解析結果(被験者 a)

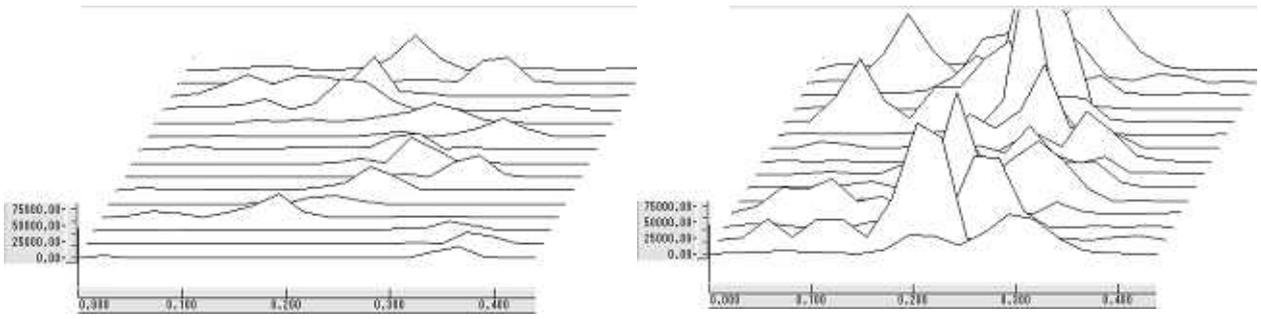


図 10(b) : 仰臥位安静(左図)およびフローティング時(右図)の呼吸曲線の周波数解析結果(被験者b)

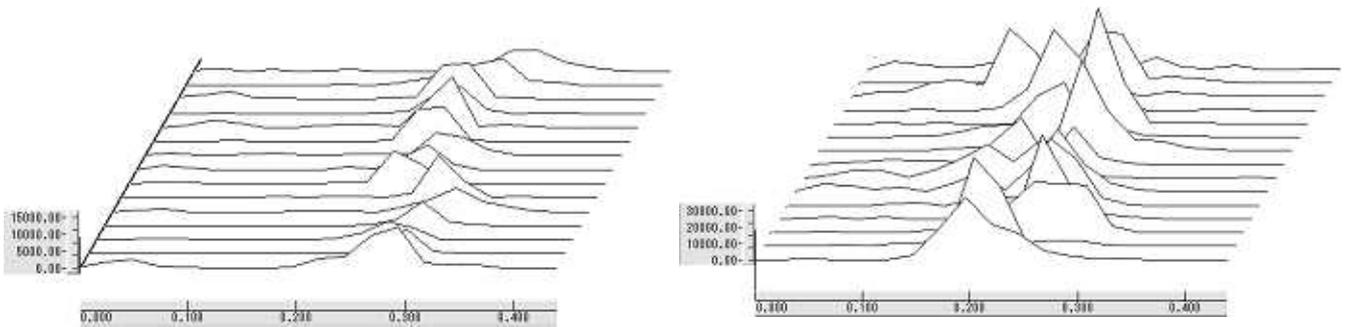


図 10(c) : 仰臥位安静(左図)およびフローティング時(右図)の呼吸曲線の周波数解析結果(被験者c)

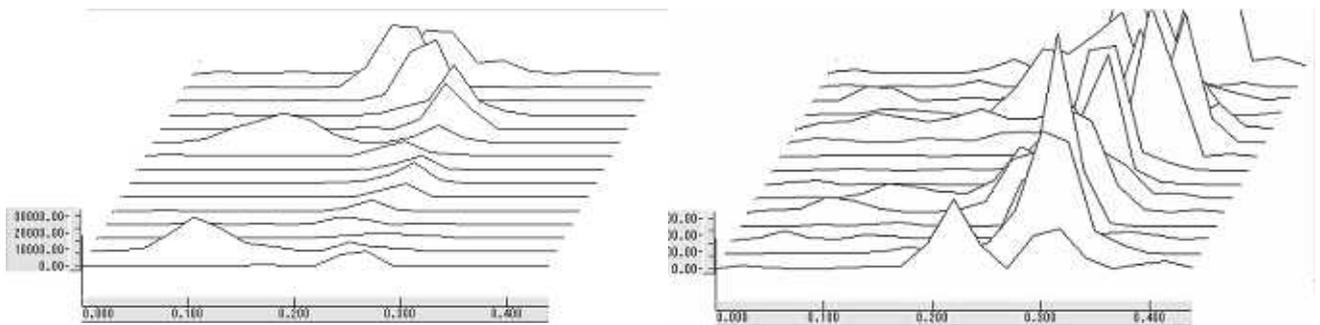


図 10(d) : 仰臥位安静(左図)およびフローティング時(右図)の呼吸曲線の周波数解析結果(被験者d)

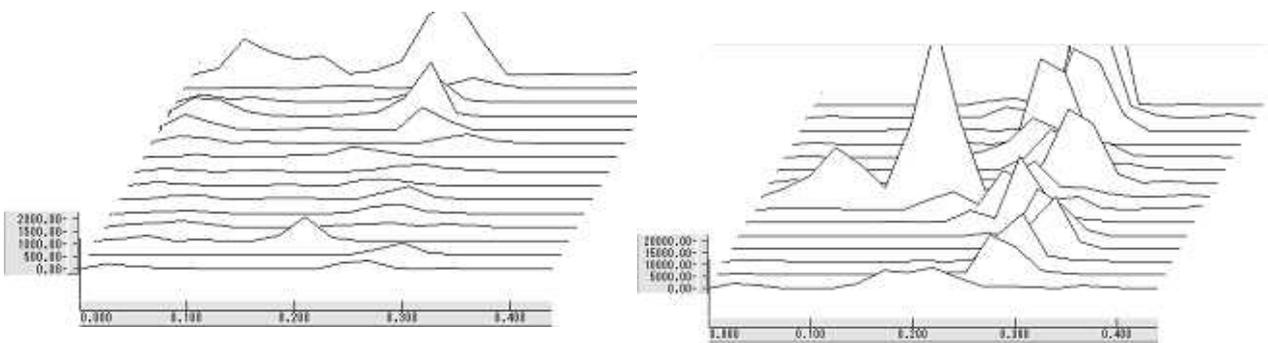


図 10(e) : 仰臥位安静(左図)およびフローティング時(右図)の呼吸曲線の周波数解析結果(被験者e)

図 8 は、仰臥位安静()およびフローティング時()における呼吸曲線 PPI の被験者一例について示したものである。呼吸の周期性を示す PPI については仰臥位安静、フローティングともにほぼ同様の数値となり、被験者全体では仰臥位安静で 38779.99[msec] (SD = 579.30) , フローティング時で 3940.63[msec] (SD=721.30) であった。なお、呼吸曲線は呼気・吸気の温度差より呼吸相をみたもので、センサーであるサーミスタの温度特性が非線形であることから定性量となるため、ここでは統計的処理は行わず、その傾向のみをみていく。また、実際の呼吸回数 (Peak / 時間) は仰臥位安静で 16.38[bpm] (SD=2.42) , フローティングで 16.41[bpm] (SD=2.80) とここでは統計的に有意な差は認められておらず、呼吸曲線の結果とあわせて呼吸の周期性や頻度は、仰臥位安静、フローティングで変化がみられないことが示唆された。

図 9 は、仰臥位安静()およびフローティング時()における呼吸曲線振幅高の被験者一例について示したものである。PPI と異なり、仰臥位安静に比較してフローティング時に呼吸の深さを示す振幅高が高くなっていることが伺える。被験者全体では仰臥位安静で 64.32[mV] (SD = 35.40) , フローティング時で 89.86[mV] (SD=77.12) であった。前述のように、呼吸曲線から得られる数値は定性量であるため、この場合の統計的処理は大きな意味を持たないが、各被験者において仰臥位安静時よりもフローティング時で呼吸が深くなっていることが示唆された。

図 10(a) ~ (e) は、各被験者毎の仰臥位安静(左図)およびフローティング時(右図)における呼吸曲線のパワースペクトルを示している。すべての被験者において、仰臥位安静よりもフローティング時においてパワースペクトルの強度が高いことが伺える結果となった。前述のように呼吸曲線自体が定性量であることを前提として 2 条件間のパワースペクトルを比較した結果、仰臥位安静では 12779.28[mV²] (SD=14034.98) , フローティング時では 55612.33[mV²] (SD=53194.85) と 4.35 倍の強度であった。この結果からも、各被験者において仰臥位安静時よりもフローティング時で呼吸が深く、大きくなっていることが示唆された。

図 11 は、浮力の重力方向変化(力の揺らぎ)とそのパワースペクトラムを示している。波形データおよびそのパワースペクトラムから、重力方向へ緩やかな力の変化がみられていることが示唆される。また本実験のフォースゲージ値より、用いたサポートポールは 1 本当り 27.5[N]の浮力を生み出し、密度換算で 27.5[N]/0.02[kg/cm³]であることから、1375.0[N/cm³]となった。すなわち、サポートポール 10 本からなるサポーターでは 275.0[N]、20 本からなるサポーターでは 550.0[N]となることが示唆された。

図 12 では、275.0[N]および 550.0[N]の浮力時それぞれのフローティングにおける心拍変動の HF および LF/HF について、5 名の平均値を示している(なお、HF は $\times 10^{-2}$ であることに留意する)。副交感神経系の活動指標である HF は、275.0[N]の浮力時は 2.60[%] (SD=2.54) であったのに対し、550.0[N]時では

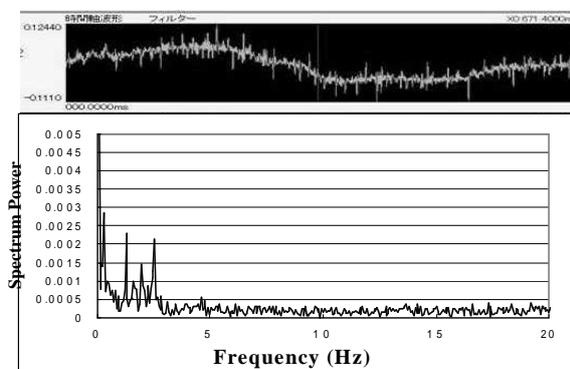


図 11: フローティング時浮力揺らぎの
パワースペクトラム

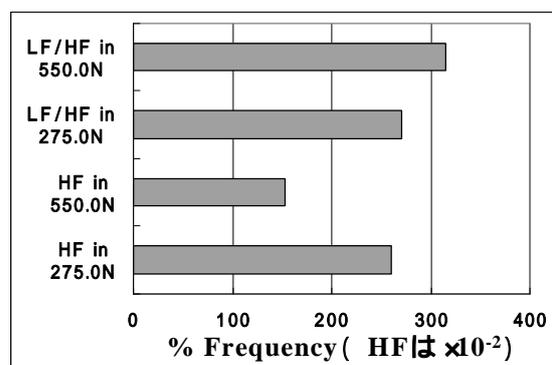


図 12: 浮力の異なるフローティング時の
HF および LF/HF の比較

1.52[%](SD=1.42)と低下する傾向がみられた。また交感神経系の活動指標である LF/HF は、275.0[N]の浮力時では270.33[%](SD=268.55)、550.0[N]時では315.2[%](SD=247.16)と上昇する傾向がみられた。

3-4. 考察 - フローティング・バイオ・フィードバックシステムの構築

以上の基礎実験を踏まえて構築したシステムを図 13 に示す。これまで述べたとおり、本システムの特徴は、本来ヒト生理情報を検出する汎用性生体アンプ Polymate AP1132(TEAC 社製)と多用途生体情報解析システム BIMUTAS -A を基盤とし、そこにヒト生理情報と機械力学情報の同期計測ユニット回路を作成・介することで、同一ユニットでの両者の計測を可能としている点である。また用いた汎用性アンプは PC カードを挿入することで、PC カードアダプタおよび CF カードメモリにデータを書き込むことが可能なことから、フィールドでのヒト生理情報と機械力学情報の同期計測が可能となっている。すでにスキーやテニス等のフィールド実験を行なっているが、今後はフローティングへの応用・展開も可能と考える。

計測されたヒト生理情報ならびに機械力学情報からは、まずヒト生体情報の心拍変動解析結果より、これまで報告されるようにフローティングによる副交感神経系活動が優位になることが示唆され、本システムが目的に適ったものであることが確認された。また、呼吸曲線解析結果よりフローティング時では呼吸頻度が上がるのではなく、呼吸の深さが増してくることが伺えた。この結果からは、呼吸曲線やそのパワースペクトルを呼吸情報として被験者にフィードバックをかける自律訓練法が、本システムをより有効にするものと考えられた。この場合本研究での解析同様に、多用途生体情報解析システム BIMUTAS -A の波形ビューアプログラムに基づく波形をディスプレイ上に表示するのみのため、すでに自律訓練に対応するシステムとなっているが、依然として心電・呼吸フィードバックの試行は行なっていな

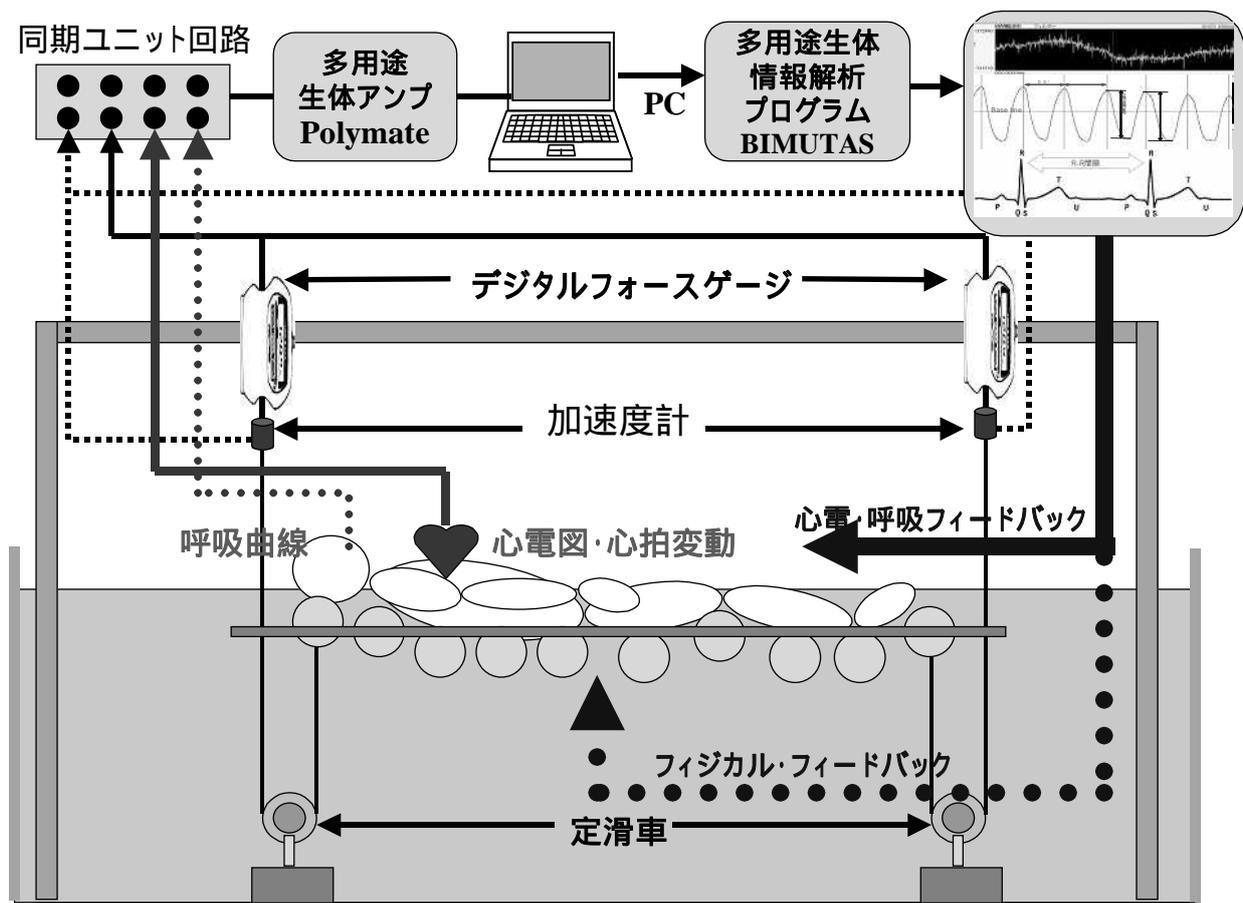


図 13: フローティング・バイオ・フィードバックシステムの全体概要

いため図 13 では概念設計として追加している。

機械力学情報からは、浮力が大きくなった場合に副交感神経の活動指標である心拍変動の HF が低くなり、交感神経の活動指標である LF/HF が高くなることが確認された。これはフローティングサポーター全体の浮力が 550.0[N]の場合、被験者の身体のひとつが水面上に出てしまい、水の生理作用の影響を受けないといった生理的要因と、サポートポールを増やし浮力をさらに上げると、結果としてマット上での仰臥位安静と同じ条件になってしまうという物理的要因の 2 つが考えられる。後者の物理的要因については、仰臥位安静とフローティングにおける自律神経活動や呼吸相からフローティングにおける副交感神経活動の優位性が本研究でも確認されていることから、大きな要因として考えられる。すなわち、浮力 27.5[N]のサポートポールの使用本数を増やし、フローティングサポーター全体の浮力をさらに大きくすると、結果的にマット上での仰臥位安静時と同様の仰臥位条件になってしまうためである。また、生理的要因としては、浮力が小さい場合被験者の身体の水没する割合が大きくなり、何らかの生理作用を水から受けることで副交感神経活動が優位になるのではないかと考える。また、水没する身体の一部が大

きいと水圧の影響を受けるが、フローティングでは水面上に身体が留まっているため、水圧による影響は血管等を収縮して結果交感神経活動を亢進するに至るほどではないと考える。今回の研究では、フローティングサポーターの浮力を 275.0[N]と 550.0[N]の 2 つに限定して実験を行なったが、今後はより細かな浮力域と自律神経系の動態の関係を明らかとすることで、よりよいフローティング(フィジカル・フィードバック)を可能とするシステムに再構築することを目指していく。

4. フローティングのストレス負荷に対する効果

4-1. ストレス負荷実験

次章、競技スポーツへのフローティングの応用・展開のために、ここではストレス負荷に対するフローティングの効果についての検証実験を行なった。スポーツに限らず、我々は社会においてストレスの原因となる様々なストレスに遭遇し、そのストレスが自身の対応能力を超えた脅威であると感じるとき、ストレス反応と呼ばれる様々な症状や行動を生じさせる。また、ストレス状態が長時間持続することにより、ストレス障害と呼ばれる様々な障害や疾病を生じさせることもある。このストレスを緩和または軽減させるための、フローティングの効果を実験的に検証していく。ここまでの研究で、フローティングは副交感神経活動を優位とすることが確認されている。本実験では、運動によるストレス負荷後の回復過程を仰臥位安静時とフローティング時の自律神経系活動から評価し、フローティングにおける短期ストレスの回復効果の有効性について検討していく。

4-2. 実験方法

実験は、健康な男性成人 5 名を被験者に行った。本実験に際しては長岡技術科学大学倫理委員会への申請を行い、承認を得た後実施された。図 14 に実験のフローチャートを示す。ストレス負荷実験に先がけ、各被験者には自転車エルゴメータを用いた漸増負荷テスト(10W/min)によって Anaerobic Threshold(AT)を計測した。テスト中、被験者には呼気ガス採取用のマスクを装着し、漸増負荷中の呼気ガスをセンサーメディックス社製エネルギー代謝装置 Vmax を用いた Breath by breath によって計測・分析した。AT の決定は V - slope 法によって決定するとともに、 VE の急激な上昇 VCO_2 の急激な上昇 $ETCO_2$ の変化を伴わない ETO_2 の増加 VE/VCO_2 の変化を伴わない VE/VO_2 の増加 RQ の急激な上昇等の AT 判定基準によって再確認した。周知のように、AT は嫌氣的代謝から好氣的代謝への変局点(運動強度)であるとともに、自律神経系動態の変局点になるといった報告もなされる。すなわちストレス実験では、AT によって交感神経活動優位となる運動負荷をかけることで、身体的ストレスに対するフローティングの効果を検証している。

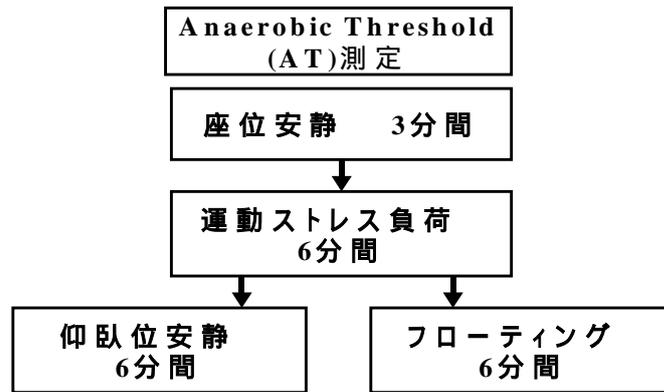


図 14: ストレス負荷実験のフローチャート

ストレス負荷実験で被験者は、予め 3 分間の座位安静を取り、その後 AT によって交感神経活動が優位となる定常な運動負荷でのエルゴメータ駆動運動を 6 分間行った。なお 6 分間という数値は、生体の定常状態を最低限であるが確保したものである。さらにその後 6 分間の回復過程を、仰臥位安静 フローティングの 2 条件で実施した。フローティング時には、フローティング・バイオフィードバック・システムによる実験結果に基づき、被験者には呼吸をゆっくり深く行なうことを指示した。また安静、運動ストレスから仰臥位安静、フローティングでの回復までの一連の実験は、被験者の体力を考慮し、それぞれ別の日に設定した。

一連の実験中被験者には心電図を装着し、心拍変動の HF、LF/HF から自律神経系動態の評価を行なった。2 条件の実験は日を変えて実施したことから、動態評価はそれぞれの座位安静時を 1 として、その変化率から行なった。

4-3. 結果

図 15 は、運動ストレス負荷後の仰臥位安静、フローティングそれぞれの HF の変化について、運動前の安静座位を基準値 1 としてみたものである。5 名の被験者の平均で、仰臥位安静条件では運動負荷時 HF は 0.117 (SD=0.008)、回復期 HF は 2.138 (SD = 2.12) であった。これに対して、フローティングでは運動負荷時 HF は 0.183 (SD=0.201)、回復期 HF は 7.521 (SD = 5.726) で、フローティングの回復期 HF は仰臥位安静に比較して有意に高いことが認められた ($p < 0.05$)。

図 16 は、運動ストレス負荷後の仰臥位安静、フローティングそれぞれの LF/HF の変化について、運動前の安静座位を基準値 1 としてみたものである。5 名の被験者の平均で、仰臥位安静条件では運動負荷時 LF/HF は 1.906 (SD=0.684)、回復期 LF/HF は 2.450 (SD = 1.931) であった。これに対して、フローティングでは運動負荷時 LF/HF は 1.412 (SD=0.7071)、回復期 LF/HF は 0.256 (SD = 0.189) で、フロー

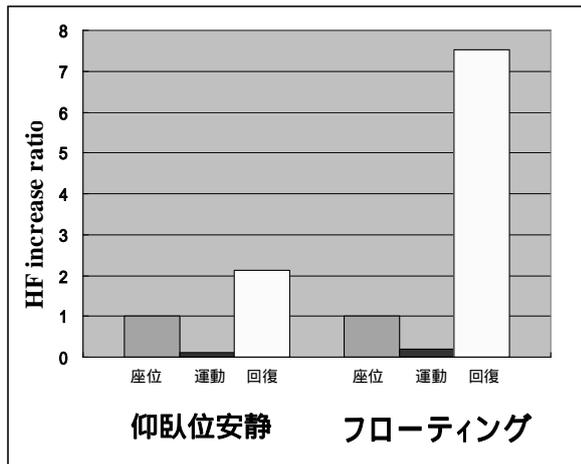


図 15: 運動ストレス負荷に伴うHF の変化率

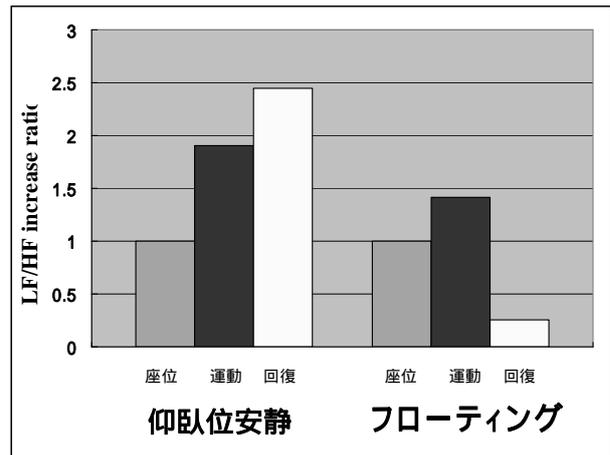


図 16: 運動ストレス負荷に伴うLF/HF の変化率

ティングの回復期 LF/HF は仰臥位安静と比較して有意に低いことが認められた ($p < 0.05$).

4-4. 考察

本研究において、フローティングが副交感神経の優位な状態をつくることを確認したが、ここでは運動ストレス負荷に対する回復過程を仰臥位安静と比較することで検討した。運動負荷については予め各被験者の AT を測定し、運動による交感神経活動の優位性を確保した上で回復過程の自律神経系活動の動態を検討した。その結果、副交感神経指標となる HF がフローティングによる回復過程で有意に高くなり、さらに交感神経指標となる LF/HF が有意に低くなることを確認した。すなわちフローティングには、ストレスからの高い回復効果のあることが示唆された。

また、塩野谷らは同様に単純作業に伴う精神ストレス負荷に対するフローティングの効果を報告しているが、今回の運動ストレス負荷同様に座位安静から単純作業中は HF が低下、LF/HF は増加するが、フローティングによって HF は増加し、LF/HF は低下することを報告している。さらに今回の結果同様、その HF の増加の割合、LF/HF の低下の割合は仰臥位安静よりもフローティングにおいて有意に高いことが報告されている。

本研究におけるここまでの結果、そしてこれまでの先行研究結果からは、フローティングを競技スポーツに適用・展開する上での様々な方向性が見出されてくるものと考えられる。競技スポーツにおけるパフォーマンス向上は、試合における技術的なパフォーマンスの向上だけでなく、長期にわたる強化練習や合宿等々での多面的なパフォーマンス(例えば、食事や休養)あるいは障害のケア等多くの場面と関係していると考えられる。これらの点を考慮しながら、次章競技スポーツへのフローティングの適用・展開で

は、今後の課題としての競技スポーツへのフローティングの応用事例について報告する。

5. 競技スポーツへのフローティングの応用・展開(今後の課題としての事例報告)

5-1 応用の方向性

ここまでの研究では、フローティングの基礎実験をとおしたフローティング・バイオ・フィードバックシステムを開発、およびフローティングの効果として運動ストレス負荷に対する効果・効用についての実験結果を報告してきた。これらを受けて、本章競技スポーツへのフローティングの応用・展開ではケーススタディとして、競技スポーツへのフローティングの応用事例について報告していく。ただし、ここでの事例報告については、依然として被験者数等が少なく完結した結果を導くには至っていないものであり、すべてのフローティング研究の今後の課題としての事例報告であることを追記する。

前述のように、競技におけるパフォーマンス(競技成績)の向上に直結する体力の向上(運動生理学的研究)や技術の向上(スポーツバイオメカニクス的研究)だけではなく、今回対象としているメンタルマネジメント(スポーツ心理学的研究)はじめ栄養や休養(スポーツ栄養学的研究)等と様々な方向からのパフォーマンスの向上も必要となる。フローティングの効果・効用を考えたとき、まず 競技場面での(幅広い意味での)メンタルマネジメント(リラクゼーションやモチベーション)効果が期待される。加えて、試合後や合宿等での日々の疲労回復やメンタルマネジメント効果も期待できよう。

そこで本章では、上記 および に関連する 3 つの研究事例(継続中の研究)について現在の状況を報告する。

5-2 ケーススタディ 1 - フローティングにおける脳波計測

フローティング・バイオフィードバックシステムにおいて、フィードバックをかけやすい新しいヒト生理情報として指標として脳波に着目し、フローティング中の脳波計測を試みた。被験者は、競技スポーツを行っている成人男子 2 名であった。被験者には、浮力 275.0[N]のサポートを受けた 10 分間のフローティング時の脳波計測を行なった。脳波計測をフローティングという水際で実施するにあたっては、装着電極数等が与える被験者への負担やデータノイズの発生等を考慮して、今回は試験的にノイズ除去に優れた簡易型脳波計 FM-717(FUTEK エレクトロニクス社製)を用いた。脳波の測定は、前頭部に装着したセンサーバンドを介して 1[Hz]のサンプリング周波数で行なった。また、脳波の解析には FM-717 専用の解析プログラム(パルラックス)を用いた。

図 17 には、被験者 2 名の脳波各成分の優勢率を示している。優勢率は、全測定時間における各々の成分の強度が最も強かった時間の割合を示すものである。図中、 2 の優勢率が最も高いことが確認さ

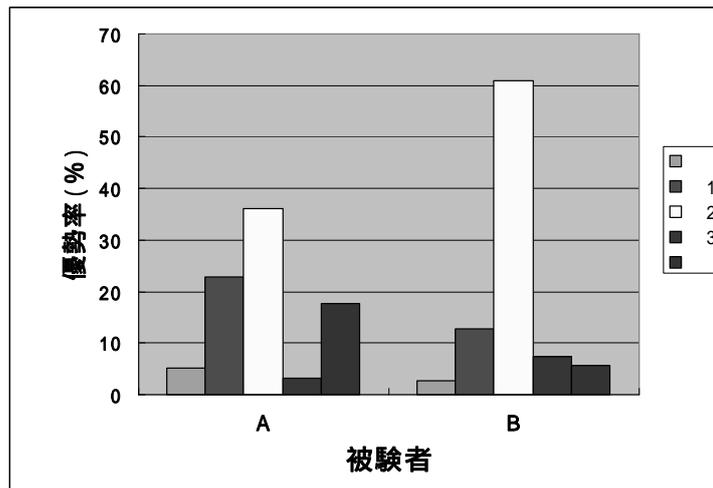


図 17: フローティング時の脳波各成分の優勢率

れる。脳波は一般に、波 8～13[Hz]が心地よく、リラックスした状態、波 14～[Hz] が正常な覚醒状態、波 4～7[Hz] が創造的な幻想時と時に不安の両方に連合している状態、波 1.5～6[Hz]が睡眠時に強く検出される。今回使用した FM-717 では波を更に 3 分割し、7～8[Hz]までを 1、9～11[Hz]までを 2、12～13[Hz]までを 3 として評価を行なっている。このうち波の 2 にリラックスした集中傾向が強いとされ、波に近い 1 では集中にまどろむような弛緩が混じり、逆に波に近い 3 では集中に緊張が混じり覚醒が強くなるとする報告がある。

今回の結果は、フローティングによってリラックスした集中傾向が導かれるというものであり、今後被験者数を増やし実際の競技会等でのフローティングによるパフォーマンス向上の可能性を探るものである。

5-3 ケーススタディ 2 - 競泳競技におけるウォーミングアップ時のフローティング

ケーススタディ 1 の結果より、フローティングにリラクセーション効果とあわせて集中傾向が導かれる可能性が示唆されている。これを受けて、実際の競技会で競技前にフローティングを行うことがパフォーマンス等に影響を及ぼすか否かの基礎実験を試みている。対象とした競技は水泳競技で、対象とした競技会は N 県水泳連盟公認スプリント選手権(50m長水路)であった。ここでは、同競技会に出場した成人男子 3 名を被験者とした結果を報告する。

今回の測定は実際の競技会場で行なったため、被験者には Polar 社製 HR モニター RS810 を胸部に装着し、心拍変動からみた HF ならびに LF/HF の測定を行なった。被験者は、大会プール横のウォーミングアッププール(飛び込み用プール)に付属した温浴水槽(水温 36)で、出場競技 1.5 時間前(召集時間を考慮)にサポートポール 10 本(275.0[N])によるフローティングをおおよそ 10 分間行なった。フロ

表 1: 各被験者の自律神経活動動態

被験者	A	B	C
出場種目	平泳ぎ	自由形	自由形
平均心拍数[bpm]	100.0	108.0	77.0
R-R 間隔最小値[ms]	320.0	444.0	629.0
R-R 間隔平均値[ms]	601.0	554.0	784.0
R-R 間隔最大値[ms]	705.0	619.0	1097.0
HF (%)	0.3	0.1	1.4
LF/HF (%)	221.2	888.0	204.7

ーティングは、軽いウォーミングアップ(準備運動)後に 10 分間行い、その後に競技を念頭においてウォーミングアップを行なうという流れであった。加えて、被験者からフローティングについての内省報告(感想)を取った。

表 1 に、ウォーミングアップ時の 10 分間のフローティングにおける各被験者の自律神経活動動態について示した。出場競技が異なるため、記録(所要タイム)等でパフォーマンスの比較がむずかしいが、大会成績は被験者 C がもっとも上位であり、他者 2 名とは大きな開きがあった。自律神経活動動態は、このパフォーマンスの優れた被験者が副交感神経活動指標の HF で 4~10 倍程度高いことが伺える結果であった。また、被験者からの内省報告で

- ・ イメージトレーニングができた
- ・ (フローティング中に聞こえる他のレースの)スタートの合図等を利用して泳ぎのイメージ化を行った
- ・ リラクセーションはできたが、集中はむずかしかった

等の意見を得た。

これまでの本研究で、フローティングには副交感神経活動を優位とする効果・効用が認められ、さらに(今後の課題ではあるが)リラックスした集中傾向が導かれる可能性が示唆されている。すなわち、競泳競技におけるウォーミングアップ時のフローティングによって実際の競技に集中することができる、あるいは集中するためのプログラムが開発されるといった新しい可能性に結びついていくものとする。

5-4 ケーススタディ 3 - 練習後のフローティングによる身体的・精神的マネジメント

フローティングによって副交感神経活動が優位となることを報告してきたが、副交感神経は安静状態

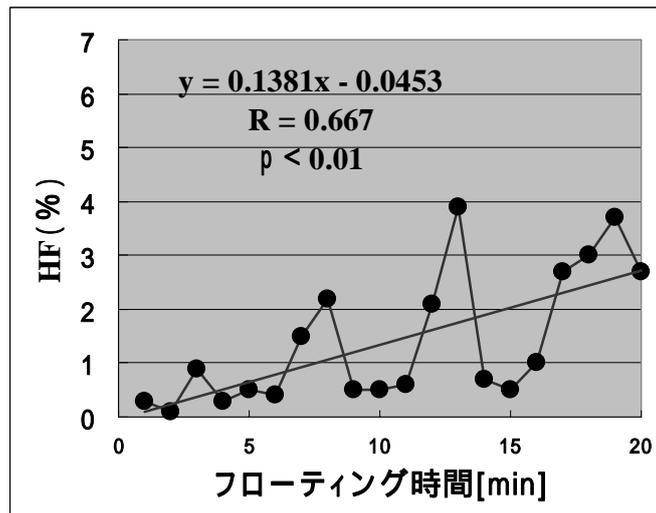


図 18:20 分間のフローティングにおける HF (%) の変化

表 2: 練習翌日の体調に関する内省報告 (体調に関する否定的回答数)

体調に関する内容	フローティング有(3日)	フローティング無(5日)
1) 睡眠	0/6	2/10
2) 目覚め	1/6	2/10
3) 疲労感	1/6	3/10
4) 気分	0/6	4/10

で優位となる自律神経であるため、クーリングダウン後に加えてフローティングを行なうことで身体的あるいは精神的な(ケア)マネジメントとなる可能性が考えられる。そこでケーススタディ 2 と同じ競泳選手を対象に、練習後 20 分間のフローティングで副交感神経活動がどのような変化がみられるのか、またそれが 1 週間という長い時間軸において身体的・精神的側面にどのような影響を与えるかを、心拍変動とともに簡単なアンケート調査によって行なっている。ここでは、その一例を紹介する。

被験者は男子大学生の競泳選手 2 名である。被験者は、月曜日と金曜日の週 2 回およそ午後 4 時 30 分から 7 時 00 分までの 2 時間 30 分の練習終了のクールダウン後に、20 分間のフローティングを行った。被験者には Polar 社製 HR モニター RS810 を胸部に装着し、心拍変動からみた HF ならびに LF/HF の測定を行なった。被験者は、プール横の温浴水槽(水温 36)で、サポートポール 10 本(275.0[N])によるフローティングを行なった。それ以外の練習日については、クールダウンで練習終了とした。また被験者は、毎練習の翌日起床時に体調に関する簡単な質問(睡眠、目覚め、疲労感、気分)に回答を行い、それを集計した結果からフローティングの効果について検討した。今回報告する対象調査日は 8 日間で、

うち3日間はフローティングを行なった。

図19は、20分間のフローティングにおけるHFの変化の一例を示している。フローティング時間が経過するとともに、副交感神経活動の指標であるHFは上昇し直線近似した場合、 $Y = 0.138X - 0.0453$ で時間の経過に対して有意な直線関係となった($R=0.667, p < 0.01$)。また、表2では体調に関する項目への否定的回答数をまとめてみた。こういった結果について言及するには、今後多くのデータ数が必要になるものと考えるが、今回の結果で練習後のフローティングが副交感神経活動を優位とする過程が示唆され、これによって練習後の身体的・精神的体調管理プログラムの作成等結びつく可能性のあることが期待できる。

今回の3つのケーススタディはいずれも、今後のスポーツ現場で展開予定のフローティング研究に係る方向性とその研究方法の報告に留まるものであるが、長いスパンの研究継続によってスポーツ現場に大きな成果を齎すものと期待している。

6. 結言

本研究を以下にまとめる。

1) 本研究では、ヒト生理情報と機械力学情報を同一ユニットで同期計測するための同期ユニット回路を作成し、両情報を同期計測システムを汎用性生体アンプ Polymate AP1132 (TEAC 社製) を基盤として構築した。さらにこのシステムをフローティングに応用し、ストレスマネジメントのためのフローティング・バイオフィードバックシステムを開発した。

2) 開発に係る基礎実験では、ヒト生理情報として心電図・心拍変動の周波数解析から副交感神経活動指標としてHFおよび交感神経活動指標としてのLF/HFを導出し、フローティングが副交感神経活動を促進することを確認した。また、サーミスタを介して呼吸曲線を検出、周波数解析に基づくそのパワースペクトラムよりフローティング時は呼吸が大きくかつ深くなることを確認した。

3) 機械力学情報としては、デジタルフォースゲージを介してフローティングをサポートするフローティングサポーターの(擬似)浮力を計測するシステムを構築するとともに、浮力が275.0[N]と550.0[N]の場合を比較、浮力と水の生理作用両方を受ける前者において副交感神経活動が優位になることを確認した。

4) 競技スポーツへの応用を図るために、運動ストレス負荷に対するフローティングの効果について検証した。ATに基づいて交感神経活動を優位とした運動ストレスを負荷した後、フローティングによって副交感神経活動が回復することを確認した。

5) これらの研究を受けた今後の課題としてのケーススタディ(事例報告)として、

フローティング時の脳波計測から、フローティングでの副交感神経活動の優位性確保とともに、集中す

る傾向の可能性の示唆

競泳競技におけるウォーミングアップ時のフローティングからは、競技パフォーマンスの優れた者の副交感神経活動の優位性と、背景としての集中傾向の存在の示唆

競泳における練習後のフローティングによる副交感神経活動の優位性の確認を報告するとともに、今後に向けた継続研究課題とした。

以上である。

7. 謝辞

本研究は、上月スポーツ教育財団のスポーツ助成研究として実施致しました。この紙面をおかりして関係各位に深謝致します。また、システム開発では、長岡技術科学大学スポーツ工・法医学研究室の学生から多大な協力を頂きました(写真参照)。これらのご援助、協力のもと本研究の一部は 2nd International Conference on Kansei Engineering and Affective Systems 2008 において Paper Award を受賞致しました。関係各位には重ねて、感謝申し上げる次第です。



8. 参考文献

1. 木住野孝子, 松田光生: “短時間のえき下水準における水侵が心臓自律神経系活動に及ぼす影響 水温 25 , 30 , 34 での検討”, 体力科学, Vol.46, pp101-112, 1997.
2. 西村正広, 小野寺昇: “仰臥位フローティングが心拍数, 血圧および心臓自律神経系活動に及ぼすリラクゼーション効果”, 宇宙航空環境医学, Vol.37(3), pp49-56, 2000.
3. 西村一樹, 山口英峰, 中西洋平, 小野寺昇: 水温の違いが仰臥位フローティング中の直腸温および酸素摂取量に及ぼす影響, Japanese Journal of Sciences in Swimming and Water Exercise No.7.2004
4. A.Shionoya, H.Saito and H.Miyake :Concept design of the floating biofeedback system for mental management and health.1st international Scientific Conference of Aquatic Space Activities. CD-R proceedings, pp122-127, 2008.
5. K.Nishimura , A.Miyanishi and S. Onodera et.al : Effects of immersion in different water temperatures

before exercise on heart rate, cardiac parasympathetic nervous system activity and rectal temperature. 1st international Scientific Conference of Aquatic Space Activities. CD-R proceedings, pp128-133, 2008.

6. R.Yamakawa, H.Sugimura and A. Shionoya : Autonomic nervous system evaluation in supine floating. The proc. of 2nd International conference on Kansei Engineering and Affective Systems, No.2, pp227-231, 2008. (Paper Award)

7. 山川竜平, 西條暁里, 杉村裕規, 塩野谷明他:メンタル・マネイジメントを目的としたフローティング・バイオフィードバック・システムの構築. バイオメカニズムシンポジウム前刷, No.21, pp293-302, 2008.

8. A. Shionoya, K. Hata and T. Saijou : Kansei evaluation of tennis racket by concurrent thuestone s paired comparison analysis and electromyography(EMG) analysis. The Impact Technology on Sport, Vol.3, pp353-387, 2009.

9. A. Shionoya, K. Hata and T. Saijou :Parallel measurement of vibration and EMG(Electromyography) in summer skiing; Fundermental study on the development of the system for estimating exhaustion. The Impact Technology on Sport, Vol.3, pp69-71, 2009.