

2010 年度 修士論文

全力泳後の疲労回復に対する下肢運動の有効性について
Effectiveness of leg exercise on the recovery from the fatigue
after maximal effort swimming

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5009A028-0

川崎 晃尚

Akihisa, Kawasaki

研究指導員： 奥野 景介 准教授

目次

	【頁】
第1章 緒言	・・・ 1
1-1 はじめに	・・・ 2
1-2 先行研究小史	・・・ 3
1-2-1 血中乳酸濃度とクーリングダウン	・・・ 3
1-2-2 クーリングダウンの最適運動強度	・・・ 6
1-2-3 運動形態と運動強度	・・・ 9
1-2-4 疲労の定義	・・・ 10
1-3 研究目的	・・・ 11
第2章 実験方法	・・・ 12
2-1 被験者	・・・ 13
2-2 実験手順	・・・ 14
2-3 測定項目	・・・ 15
2-3-1 高強度運動課題	・・・ 15
2-3-2 クーリングダウンについて	・・・ 15
2-3-3 測定方法および用具について	・・・ 15
2-3-4 血中乳酸濃度の低下量および低下率の算出法	・・・ 17
2-4 データ解析および統計処理	・・・ 17
第3章 結果	・・・ 18
3-1 全力泳の記録とクーリングダウン実施前の 血中乳酸濃度, RPE および心拍数	・・・ 19
3-2 各試行における血中乳酸低下量の比較	・・・ 21
3-3 各試行における血中乳酸低下率の比較	・・・ 22
3-4 各試行における RPE の比較	・・・ 23
3-5 各試行における心拍数の比較	・・・ 24
第4章 考察	・・・ 25
4-1 血中乳酸濃度の低下とクーリングダウンの運動形態	・・・ 26
4-2 クーリングダウンの運動強度と RPE	・・・ 27
4-3 クーリングダウンの運動強度と心拍数	・・・ 27
4-4 今後の展望および研究成果の利用	・・・ 28

4-4-1 研究の展望	・・・ 28
4-4-2 本研究の活用機会	・・・ 30
4-5 結論	・・・ 30
謝辞	・・・ 31
参考文献	・・・ 32

図および表一覧

図 1 血中乳酸濃度と血中乳酸閾値	・・・ 6
図 2 4mmol OBLA (onset of blood lactate accumulation) 強度の例	・・・ 7
表 1 実験における被験者の年齢, 身長および体重	・・・ 13
図 3 実験プロトコルの模式図	・・・ 14
図 4 RPE (Borg's Scale) Rating of Perceived Exertion: RPE	・・・ 16
表 2 各試行における 100m 全力泳の記録	・・・ 19
表 3 Pre, Post1 および Post2 における各試行の血中乳酸濃度	・・・ 19
表 4 Pre, Post1 および Post2 における各試行の RPE	・・・ 20
表 5 Pre, Post1 および Post2 における各試行の心拍数	・・・ 20
図 5 Post2 から Post3 における血中乳酸濃度の低下量	・・・ 21
図 6 Post2 から Post3 における血中乳酸濃度の低下率	・・・ 22
図 7 Post2 から Post3 における RPE の変化	・・・ 23
図 8 Post2 から Post3 における心拍数の変化	・・・ 24

第 1 章 緒言

1-1 はじめに

競技スポーツは 1 日に数試合行う事がある。とりわけ競泳競技は、予選、準決勝そして決勝と 1 日に 2 回以上泳ぐことが頻繁にある。そして、レース間の休憩時間は最短では 30 分程度しかない。このような状況において、各レースで良いパフォーマンスを発揮するためには、レース後の疲労をいかに早く回復するかが鍵になる。

ヒトが運動を行う際は、エネルギー供給機構から ATP が供給される。そして、高強度運動を行う際には、ATP-CP 系と解糖系から ATP 供給が行われる。一般的に、ATP-CP 系による ATP 供給可能時間は運動開始後から 15 秒まで、解糖系による ATP 供給が可能な時間は 60 秒までと言われている (本郷ら 2006)。競泳では、100m 種目は 50–60 秒程度で終了する。したがって、競泳の 100m 種目は ATP-CP 系だけでなく、解糖系のエネルギー供給機構を最大限に利用していると推察される。

解糖系の ATP 供給過程では乳酸が産生される。この乳酸は筋の ATP を ADP とリン酸に加水分解する酵素である ATPase の活性を阻害するため (本郷ら 2006)、筋収縮を阻害してしまう。つまり、高強度運動によって生じる乳酸はそれを妨げる一因になるといえる。したがって、高強度運動によって筋内に蓄積した乳酸をいかに素早く除去するかが次のレースで高いパフォーマンスを発揮するために重要となる。そして、競泳の 100m 種目によって発生する乳酸は、競技後 1 時間経過しても血中乳酸濃度が安静時の基準値に回復しないことが報告されている (本郷ら 2006)。つまり、安静状態を維持するためだけでは速やかな血中乳酸の除去が不十分であることを示す。このようなレースのような激運動では上昇した血中乳酸濃度をレース後に素早く低下させるためにクーリングダウンが必要となる。

これまでに、血中乳酸濃度を低下させることを目的として、運動後に低強度運動を行うクーリングダウンに関する研究が数多く行われてきた (Bonen and Belcastro 1975, 長沢ら 1985, 田中ら 1992)。競泳競技においても、血中乳酸濃度の低下におよぼすクーリ

ングダウンの影響が数多く検討されている (並木ら 1992, 岩原ら 2000, 野口と舟橋 2003). 岩原ら (2000) は, 競泳のレース後の血中乳酸濃度は, 最大酸素摂取量の 70%の運動強度で行うクーリングダウンによって最も低下することを報告した. また, 主観的運動強度 (RPE) を基準とした場合, 自転車駆動による無酸素性運動後の血中乳酸濃度は, RPE11 の「楽である」から RPE13 の「ややきつい」運動強度でクーリングダウンを行うことで最も低下することが報告されている (岩原ら 2003). これらの研究に代表されるように, クーリングダウンにおける効果的な運動強度に関する先行研究は他にもみられる (野口と舟橋 2003). これらのことから, クーリングダウンによって血中乳酸を素早く除去するためには, 適切な運動強度を設定し, 被験者に適度な運動負荷を与えることが重要であるといえる.

一方, 競技者の身体に対する運動負荷は, 運動強度だけでなく運動形態によって異なることが知られている. 星原ら (2002) は競泳競技において, 上肢運動による高強度のプルまたは下肢運動による高強度のキックを行った場合, 翌日の運動後における血中乳酸濃度, RPE, 心拍数の全ての項目において高い値を示すことが報告されている. また最大強度におけるプルおよびキックの総酸素摂取量はキックの方が高いことが明らかにされている (荻田ら 1998). これらの報告は, 最大強度にも関わらず, 水泳のキックはプルよりも解糖系や好氣的代謝系のエネルギー供給量が大きいことを意味する.

これらを総合すると, 効果的なクーリングダウンのためには運動強度の設定だけでなく運動形態の観点からも検討を加えることで, 血中乳酸濃度をより効率よく除去するための知見が得られる可能性がある. そこで, 本研究は, 異なる運動形態のクーリングダウンが全力泳後の血中乳酸濃度, RPE および心拍数に及ぼす影響について明らかにする.

1-2 先行研究小史

1-2-1 血中乳酸濃度とクーリングダウン

乳酸とは筋肉や肝臓に貯蔵されているグリコーゲンが分解されてできる物質であり、血中乳酸濃度とは血液中の乳酸の濃度のこと、その濃度は産生と除去のバランスで決定される (八田 1989)。乳酸はグリコーゲンが分解される過程で産生され、乳酸からできたピルビン酸がミトコンドリアに入ることによって酸化される(八田 1991)。そして、激運動時に血中乳酸濃度が急激に上昇するのは、乳酸産生量が乳酸酸化量を大きく上回るためである (八田 2001)。

ヒトの乳酸は血中乳酸濃度として測定され、身体疲労の指標として用いられる。そして、乳酸濃度が高いと身体に与えるストレスが大きいことが考えられている (青木と鈴木 1975)。事実、乳酸が筋中や血中に多量に蓄積されると解糖系のいくつかの律速酵素活性が低下してATP産生を抑制されるとともに、ATPase活性を阻害することで筋収縮が抑制され (本郷ら 2006)、高強度運動の継続が困難になる (岩岡 1990)。競泳の現場では、1日で複数のレースに出場する場合のレース間隔が最短で約30分という場合もある。しかし、レースによって上昇した血中乳酸濃度は、レース後1時間を経過しても安静状態の値に戻らない (本郷ら 2006) ため、続くレースで高いパフォーマンスを発揮するためには、最初のレース終了後に、血中乳酸濃度を低下させる適切なクーリングダウンを行うことが重要となる。

高強度運動後に行うクーリングダウンは、ヒトの運動終了直後に完全休止することによって起こる吐き気、めまい、気絶等を防止するための整理運動の重要性が主張されて以来 (Waglow 1959, Cooper 1979)、そのメカニズムや効果について様々な研究が行われてきた。このようなクーリングダウンの効果を説明するメカニズムには主に二つある。一つ目は、筋の反復的収縮による筋ポンプ作用によって還流静脈血量が増加し、全身に血液が循環することである (Royce 1969)。この筋ポンプ作用は下肢に血液が溜ま

る現象を阻止する役割がある。二つ目は、適度な運動によって乳酸を心筋や遅筋の好氣的代謝過程で消費し、筋収縮を起こしやすくすることである (後藤と樫崎 1995)。実際、高強度運動によって蓄積した血中乳酸は、安静状態を維持しているよりも低強度あるいは中強度程度の運動を行った方が速やかに消失されることが報告されている (Jervell 1928, Belcastro and Bonen 1975, 川崎ら 2010)。さらに、運動後の軽度あるいは中程度の運動は、最大血圧と心機能を急激に変化させないという効果もある (黒沢ら 1970)。

1-2-2 クーリングダウンの最適運動強度

これまで、血中乳酸濃度の低下とクーリングダウンの至適運動強度について様々な検討が行われてきた。青木 (1988) は、クーリングダウンの運動強度が安静状態のように極端に低すぎると血中乳酸濃度の低下効果が低いことを報告した。この現象について、完全休息や低強度の運動では活動筋の血流量が減少することと、エネルギー源としての乳酸の利用が低下することが背景にあると説明した (青木 1988)。また、クーリングダウンの運動強度が高すぎると活動筋での乳酸産生が増加することや、腎臓および肝臓の血流量が減少し、血中乳酸濃度の低下が遅くなることが報告されている (Richardson et al. 1996)。

クーリングダウンの至適運動強度について、青木 (1998) は乳酸性作業閾値 (図 1) の 65%程度の運動強度が適切であることを報告した。また、その時の RPE は 11、心拍数は 130 回/分程度が望ましいことを併せて報告した (青木 1998)。

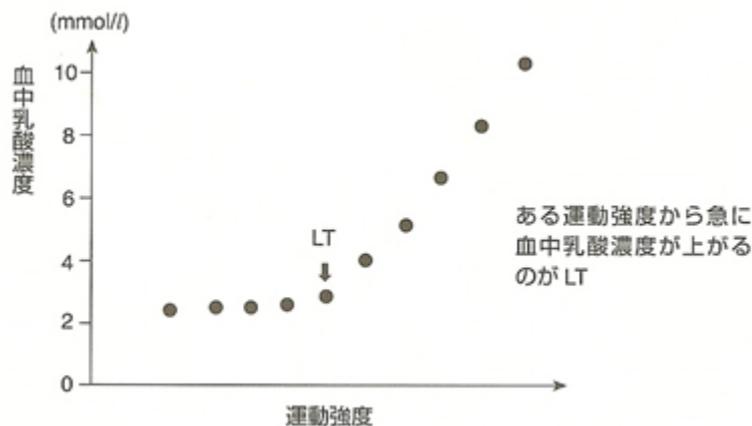


図 1 血中乳酸濃度と血中乳酸閾値 (八田 2001)

黒点が急激に右上がりになり始める運動強度が乳酸閾値 (lactate threshold: LT) となる。

競泳では、4mmol OBLA (onset of blood lactate accumulation, 図 2) の 70%に相当する泳速度でクーリングダウンを行うと、安静座位の維持よりも有意に血中乳酸濃度が低下することが報告されている (岩原ら 1998). また、川崎ら (2010) は、RPE11 程度の軽度な運動をクーリングダウンとして行うと、安静座位を維持するよりも顕著に血中乳酸が減少することを確認している.

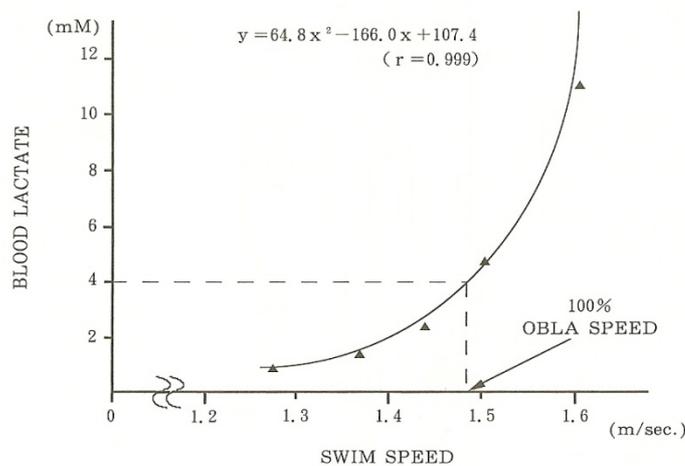


図 2 4mmol OBLA (onset of blood lactate accumulation) 強度の例 (岩原ら 2000)

血中乳酸値が 4mmol/l に相当する泳速度が 100% OBLA SPEED となる.

一方、定常ではなく運動強度を変化させて行うクーリングダウンが血中乳酸濃度の低下に望ましいと主張する研究も散見される。船橋 (2001) はクーリングダウンの初期にはやや高い心拍数で運動を行い徐々に強度を低下させていくことによって、体内に多くの酸素を供給できることから漸減的に運動強度を下げていくインターバル泳を用いたクーリングダウンを推奨している。また、レース直後に一定速度のインターバル泳をクーリングダウンとする場合は設定どおりの泳速度で泳ぐことが困難であるが、運動強度を漸減的に低下させるインターバル泳を用いると連続泳と同等の血中乳酸低下

がみられることも報告されている (野口と舟橋 2003).

これらの先行研究から現在のクーリングダウンの推奨強度は, 400m から 800m 程度の距離を指定した強度で泳ぎ続ける連続泳形式, 上記の距離を数本に分けて行うインターバル形式で行うクーリングダウンおよび両方を行うというように複数のパターンが提唱されている.

1-2-3 運動形態と運動強度

湯浅ら (1980) は自転車エルゴメーターによる上肢のみの運動, 下肢のみの運動および上肢と下肢運動について, 最大酸素摂取量を測定した. その結果, 上肢と下肢運動が 1 番高く, 続いて上肢運動のみ, 下肢運動のみというような結果が出ている. また Vrijenes et al. (1975) は, 腕および脚作業による最大酸素摂取量および仕事量を比較しており, 最大および最大下負荷において最大酸素摂取量・仕事量ともに脚作業の方が高かったと報告している. これらの報告から下肢運動よりも上肢運動の方が最大酸素摂取量が高いということが明らかになった. つまり, 運動に動員される筋量や筋群の数など, 運動形態によって最大酸素摂取量が異なると考えられる.

一方, 競泳競技における上肢と下肢の総酸素摂取量と総酸素需要量は, 上肢によるプル運動よりも, 下肢によるキック運動の方が高いということが報告されている (荻田ら 1998). 実際, 上肢および下肢運動による高強度のスイム, 上肢運動による高強度のプルまたは下肢運動による高強度のキックトレーニング実施直後の血中乳酸の最大値は, スイムは $9.67 \pm 1.3 \text{ mmol/l}$, キックは $7.33 \pm 1.7 \text{ mmol/l}$, プルは $6.96 \pm 1.4 \text{ mmol/l}$ となり, プルよりもキックの方が高い値を示した (萬久ら 1993). また同様に, 競泳のトレーニングにおいて高強度のプル運動およびキック運動を行った場合, 翌日の運動後における血中乳酸濃度, RPE, 心拍数の全ての項目において高い数値を示したことが報告されている (星原ら 2002). これらの報告から, 競泳では, 上肢よりも下肢運動の方が, エネルギー代謝が高いことが示唆される. そして, 適切な運動強度を設定すれば, プル運動よりもキック運動の方が血中乳酸をエネルギー源として再利用することで, 高強度運動後の血中乳酸濃度を素早く低下できる可能性が考えられる.

1-2-4 疲労の定義

疲労とは、疲労物質の蓄積、エネルギー源の消耗、基質の物理化学的状态の変化、調節と協調の障害および伝達疲労という 5 つの基本過程のうち複数が重なり合うことにより生じる (Simonsen1971). 競泳のように短時間での強度が高い競技では筋や血中の乳酸蓄積量が増加する (井上ら 2001) が、筋に乳酸が蓄積すると筋中の水素イオン濃度が増加することで pH が低下し、筋小胞体からのカルシウムイオンの放出が抑制され、ミオシンとアクチンの結合が阻害されてしまい神経筋間における興奮収縮連関の機能不全が生じる. また、解糖系の律速酵素であるフォスホフルクトキナーゼの活性を低下させ、3 炭糖系における ATP の生産を抑制する (青木ら 2001). そして、これらの現象が背景となり、要求された筋力発揮が不可能となる身体状況が疲労状態である.

上述のように疲労の要因は複数あるが、乳酸の蓄積は運動能力を低下させることから血中乳酸濃度が安静時よりも増加している状況は疲労状態と捉えることができる. よって、本研究では血中乳酸濃度が安静時よりも高まっている場合を疲労状態と捉えることとする.

1-3 研究目的

競泳競技は種目によって 50m, 100m, 200m, 400m, 800m および 1500m の距離を泳ぐが、短距離種目および長距離種目のラストスパートでは、プル動作とキック動作が激しく行われる。しかし、クーリングダウン中は顕著なプルが観察されるのみであり、キック動作はほぼ行われない。つまり、先述の理由により、適切な強度のキックをクーリングダウンに行うことで、通常行われている方法よりも血中乳酸濃度を効率よく除去できる可能性がある。

そこで本研究は、3つの運動強度 (RPE: 9–10, 11–12, 13–14) のキックを行う場合とクーリングダウンに特別な指示のないスイムを行う場合における全力泳後に行うクーリングダウンの運動形態および運動強度が、血中乳酸濃度、RPE、および心拍数に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。さらに、RPE と心拍数、酸素摂取量および負荷強度等の間に高い相関関係があり (Borg 1982)、トレーニングの運動強度設定において有効な指標となる (野村と正野 1990) こと、そして、競泳の現場では心拍数を運動強度の基準として測定することを踏まえ、血中乳酸濃度のみならず RPE および心拍数を併せて評価した。

第 2 章 実験方法

2-1 被験者

被験者は心身ともに健康で十分に鍛練された 20–25 歳の男子競泳選手 10 名 (22.4 ± 1.7 yrs, 174.1 ± 5.3 cm, 69.7 ± 6.1 kg) とした (表 1).

各被験者には事前に本実験の目的や方法について説明し、自主的に参加することの同意を得た。また、本研究は早稲田大学における人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得ている。

表 1 実験における被験者の年齢、身長および体重

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
A	24	177	72
B	24	178	72
C	22	166	62
D	23	185	75
E	23	169	70
F	20	175	72
G	21	175	73
H	22	170.5	66
I	20	173	67
J	25	172	60
Mean	22.4	174.1	69.7
SD	1.7	5.3	6.1

2-2 実験手順

実験は早稲田大学所沢キャンパスアクアアリーナで行った。被験者は 100m 全力クロール泳後に 4 種類のクーリングダウンを行った。設定したクーリングダウンは、低強度 (RPE9-10) でのキック (K1), やや低強度 (RPE11-12) でのキック (K2), 中強度 (RPE13-14) でのキック (K3), 特別な指示を与えずに行うスイム (Control) とした。本実験は 4 回に分けて行われ、被験者は 2 日以上空けて運動課題に取り組んだ。

実験の手順は図 3 に示すとおりである。はじめに安静状態をとり、その後十分なウォーミングアップを行わせた。その際の水着は通常の水着とした。ウォームアップ終了後に十分な休息をとるとともに、レース水着に更衣させ 100m 泳を行った。クーリングダウンは運動課題後に通常の水着に再度着替えさせ行った。なお、血中乳酸濃度、RPE および心拍数の測定は安静時 (Pre), 運動課題後 (Post1), 5 分後 (Post2) およびクーリングダウン後とした (Post3)。

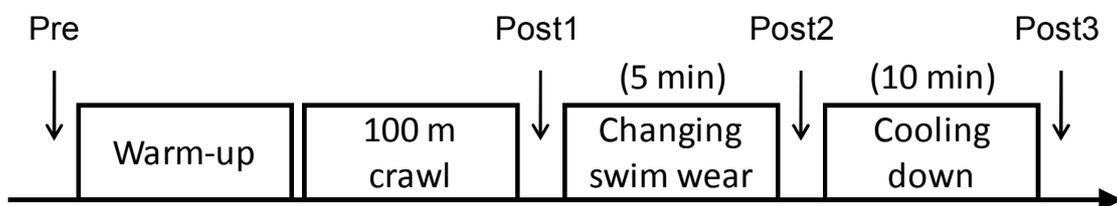


図 3 実験プロトコルの模式図

矢印は、血中乳酸濃度、RPE および心拍数が測定された時点を意味する。

2-3 測定項目

2-3-1 高強度運動課題

本研究における高強度運動課題は 100m 自由形全力泳とした。なお、自由形に設定した理由は、競泳におけるトレーニングで最も多く使用されている泳法のためであり、専門種目に影響されないためである。

2-3-2 クーリングダウンについて

実験手順で記した通りクーリングダウンにおいて低強度でキックを行う K1、やや低強度でキックを行う K2、中強度でキックを行う K3、スイムを行う Control を 2 日以上の間隔を空けてランダムに行わせた。

2-3-3 測定方法および用具について

測定項目は、全力 100m 自由形泳の泳記録、血中乳酸濃度、RPE、心拍数の 4 種類であった。泳記録はストップウォッチ (SEIKO 社製, S141-0AA0) を用いて手動で計測した。血中乳酸濃度は簡易血中乳酸測定器 (ARKRAY 社製, ラクテートプロ・ラクテートプロセンサー) および BD ウルトラファインランセット (ガンマ線滅菌・ディスポーザブル採血針) を使用し測定した。RPE はスウェーデンの Borg が数値化した 15 段階スケール (Borg 1982, 小野寺と宮下 1976, 図 4) を使用し、心拍数はハートレートモニター (POLAR, CE0537) でそれぞれ測定した。

20		
19	Very very hard	非常にきつい
18		
17	Very hard	かなりきつい
16		
15	Hard	きつい
14		
13	Somewhat hard	ややきつい
12		
11	Fairly light	楽である
10		
9	Very light	かなり楽である
8		
7	Very very light	非常に楽である
6		

図 4 RPE (Borg's Scale) Rating of Perceived Exertion: RPE (小野寺と宮下 1976)

2-3-4 血中乳酸濃度の低下量および低下率の算出法

血中乳酸濃度の低下量として Post2 から Post3 の差を求め、血中乳酸濃度の低下率は $100 - (\text{Post3}/\text{Post2} \times 100)$ の式から算出した。

2-4 データ解析および統計処理

血中乳酸濃度、RPE および心拍数は、繰り返しのある一元配置分散分析を用いて、4 実験条件における Pre, Post1 および Post2 について比較を行った。

血中乳酸濃度については、全力泳 5 分後からクーリングダウン後の低下量を求め、K1, K2, K3 および Control 間の比較を繰り返しのある一元配置分散分析を用いて検定を行った。さらに、全力泳 5 分後を基準としたクーリングダウン後の血中乳酸濃度の低下率を求め、同様の検定を行った。RPE と心拍数は、クーリングダウン条件 (Control, K1, K2, および K3) のクーリングダウン前後 (Post2 vs. Post3) について、 4×2 の繰り返しのある二元配置分散分析を用いて検定を行った。分散分析によって主効果が認められた場合、Bonferroni の方法を用いて多重比較を行った。それぞれの検定における有意水準は 5% 未満とした。

第 3 章 結果

3-1 全力泳の記録とクーリングダウン実施前の血中乳酸濃度, RPE および心拍数

各試行における 100m 全力泳の平均記録は, K1 で 56.8 ± 4.1 秒, K2 で 56.0 ± 3.2 秒, K3 で 56.5 ± 3.7 秒および Control では 55.9 ± 3.1 秒であった (表 2). 各実験日間の泳記録には有意な差は認められなかった.

表 2 各試行における 100m 全力泳の記録

	Control	K1	K2	K3
Time (s)	56.8 ± 4.1	56.0 ± 3.2	56.5 ± 3.7	55.9 ± 3.1

全てのデータは平均値と標準偏差 (Mean \pm SD) で示している. (n=10)

表 3-5 において, クーリングダウン実施前における血中乳酸濃度 (表 3), RPE (表 4) および心拍数 (表 5) を示した. 分散分析の結果, 血中乳酸濃度, RPE および心拍数はすべての試行において Pre, Post1 および Post2 間で有意な差はみられなかった.

表 3 Pre, Post1 および Post2 における各試行の血中乳酸濃度 (mmol/l)

	Pre	Post1	Post2
Control	2.3 ± 0.9	13.5 ± 1.2	14.1 ± 1.2
K1	2.1 ± 1.0	13.7 ± 2.0	14.1 ± 2.6
K2	1.7 ± 0.4	13.3 ± 1.7	13.6 ± 1.6
K3	2.3 ± 1.0	13.6 ± 2.3	14.3 ± 1.8

全てのデータは平均値と標準偏差 (Mean \pm SD) で示している. (n=10)

表4 Pre, Post1 および Post2 における各試行の RPE

	Pre	Post1	Post2
Control	7.5 ± 1.4	17.7 ± 0.8	12.5 ± 1.4
K1	7.3 ± 0.8	17.8 ± 0.9	13.0 ± 2.0
K2	7.3 ± 1.0	17.8 ± 0.8	12.5 ± 1.4
K3	7.5 ± 1.5	18.1 ± 1.0	13.2 ± 1.8

全てのデータは平均値と標準偏差 (Mean ± SD) で示している. (n=10)

表5 Pre, Post1 および Post2 における各試行の心拍数 (回/分)

	Pre	Post1	Post2
Control	80.7 ± 8.0	168.3 ± 9.7	109.8 ± 10.0
K1	78.0 ± 9.4	166.6 ± 8.3	111.1 ± 15.0
K2	82.6 ± 12.3	165.9 ± 6.9	108.7 ± 10.3
K3	78.9 ± 7.1	165.5 ± 12.3	113.9 ± 22.9

全てのデータは平均値と標準偏差 (Mean ± SD) で示している. (n=10)

これらの結果から、被験者に与えた運動負荷およびクーリングダウン直前までの条件はすべての実験日において同程度であったと考えられる。

3-2 各試行における血中乳酸低下量の比較

図5に各試行別の血中乳酸濃度の低下量の結果を示した。各試行における血中乳酸濃度の低下量はControlで 7.4 ± 2.1 mmol/l, K1では 5.6 ± 1.4 mmol/l, K2では 6.6 ± 1.4 mmol/l, K3では 6.3 ± 2.3 mmol/lであった。血中乳酸濃度の低下量については、有意な主効果が検出された ($P < 0.05$)。そして、ControlとK1間に有意差が認められた ($P < 0.05$)。

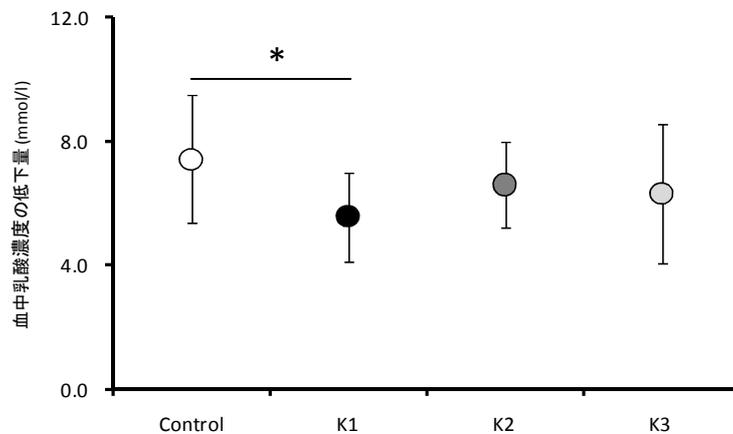


図5 Post2 から Post3 における血中乳酸濃度の低下量
各試行における血中乳酸濃度の低下量の平均値と標準偏差を示している。*: $P < 0.05$

3-3 各試行における血中乳酸濃度の低下率の比較

図6に各試行別の血中乳酸濃度の低下率の結果を示した。各試行における血中乳酸濃度の低下率は、Controlで53.1%、K1では40.9%、K2では49.2%、K3では44.8%となった。血中乳酸濃度の低下率については有意な主効果が検出された ($P < 0.05$)。そして、ControlとK1間に有意差が認められた ($P < 0.05$)。

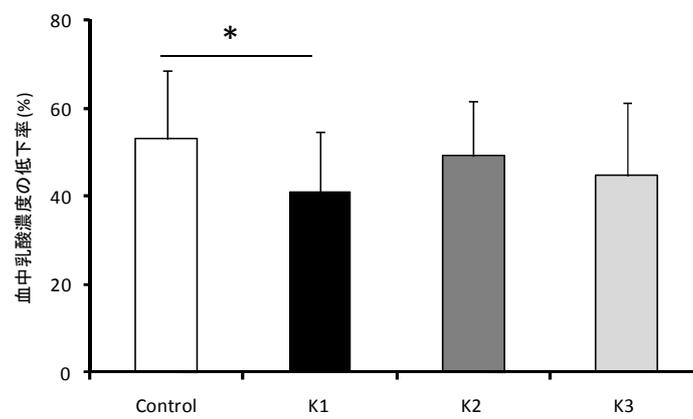


図6 Post2からPost3における血中乳酸濃度の低下率
各試行における血中乳酸濃度の低下率の平均値と標準偏差を示している。*: $P < 0.05$

3-4 各試行における RPE の比較

図 7 に各試行別の RPE の結果を示した。各試行の Post2 から Post3 における RPE は、Control で 12.5 ± 1.4 から 10.4 ± 2.2 , K1 で 13.0 ± 2.1 から 9.6 ± 1.1 , K2 で 12.5 ± 1.4 から 11.0 ± 0.8 , K3 で 13.2 ± 1.8 から 13.5 ± 0.5 であった。分散分析によって、クーリングダウン条件 ($P < 0.01$) とクーリングダウン前後 ($P < 0.05$) の要因について有意な主効果が検出された。Post3 では、Control, K1, K2 は K3 よりも有意に低かった (Control vs. K3: $P < 0.05$, K1 vs. K3 と K2 vs. K3: 0.01)。また、Control, K1 および K2 では、Post3 の方が Post2 よりも有意に低値を示した (それぞれ $P < 0.05$)。

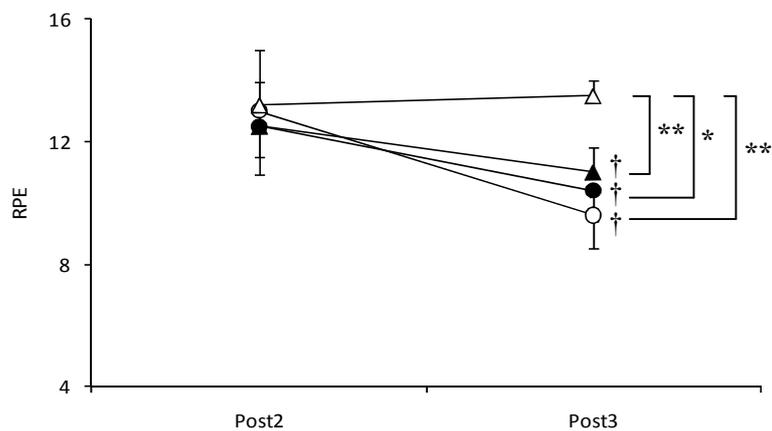


図 7 Post2 から Post3 における RPE の変化

各試行の Post2 から Post3 における RPE の変化を示している。

●が Control, ○が K1, ▲が K2, △が K3 をそれぞれ示している。

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, †: $P < 0.05$

3-5 各試行における心拍数の比較

図 8 に各試行別の心拍数の結果を示した。各試行の Post2 から Post3 における心拍数は、Control で 109.8 ± 9.6 から 109.6 ± 12.1 , K1 で 111.1 ± 15.0 から 113.3 ± 13.1 , K2 で 108.7 ± 10.3 から 124.3 ± 12.4 , K3 で 113.9 ± 22.8 から 135.0 ± 20.5 であった。心拍数については、クーリングダウン条件 ($P < 0.01$) およびクーリングダウン前後 ($P < 0.05$) の 2 要因に関して有意な主効果が検出された。事後検定の結果, K3 は Control と K1 よりも有意に高かった (Control vs. K3: $P < 0.05$, K1 vs. K3: $P < 0.01$)。また, K2 と K3 は Post2 よりも Post3 の方が有意に高かった (K2: $P < 0.01$, K3: $P < 0.05$)。

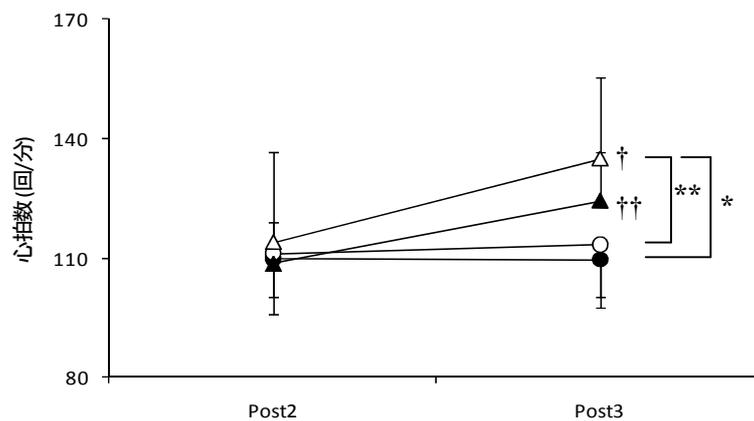


図 8 Post2 から Post3 における心拍数の変化

各試行の Post2 から Post3 における心拍数の変化を示している。

●が Control, ○が K1, ▲が K2, △が K3 をそれぞれ示している。

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, †: $P < 0.05$, ††: $P < 0.01$

第4章 考察

本研究の目的は全力運動後に行うクーリングダウンの運動形態および運動強度が、血中乳酸濃度、RPE および心拍数に及ぼす影響を明らかにすることであった。そして、1) 血中乳酸濃度の低下量は、スイムとある程度の運動強度以上で行うキックで同程度であったこと。2) RPE は「ややきつい」運動強度のキックでは5分後から低下しないこと、および3) 心拍数は、5分後と比してある程度以上の運動強度で行うキック後に増加することが明らかとなった。

4-1 血中乳酸濃度の低下とクーリングダウンの運動形態

Control 試行における血中乳酸の低下量、およびその低下率は、K1 よりも高かった。しかしながら、Control、K2 および K3 において有意な差は認められなかった。これらの結果は、ある程度以上 (RPE が 11 程度) の強度での運動を行わなければ血中乳酸濃度を効率よく低下させられないという先行研究と一致している (岩原ら 2003)。しかしながら、下肢運動が主体であるキックをクーリングダウンに用いたことで Control と同程度の血中乳酸濃度の低下が観られたのは非常に興味深い。

今回行ったクロール泳のキックでは、股関節および膝関節の屈曲伸展動作によって達成されるため、大殿筋、大腿四頭筋、大腿二頭筋などの大筋群が動員されると考えられる。そして、筋における代謝は筋サイズが大きいほど高いため (Vrijenes et al. 1975)、これらの筋群を積極的に動員させるキック動作によって、血中乳酸が好気系代謝過程において使用された可能性が考えられる。実際、石川ら (2005) は、ペダリング運動を用いたクーリングダウンによって、運動後の血中乳酸濃度が大きく低下することを報告した。これらのことから、本研究で行った水中で行うキック運動でも、運動強度さえ適切に設定すれば十分な血中乳酸濃度の低下効果が得られると考えられる。

4-2 クーリングダウンの運動強度と RPE

全力泳の5分後と比較して、クーリングダウン後の RPE は、Control, K1 および K2 において有意に低下した。しかしながら、K3 では RPE が低下しなかった。つまり、上述したように K3 のような中程度の運動強度で行うキックでは血中乳酸濃度を低下させることが可能であるが、主観的な疲労度を回復することはできないということである。一方、K1 後において RPE が最も低下したが、血中乳酸濃度は有意に低下しなかった。これらのことを踏まえると、血中乳酸濃度と RPE を低下させる場合は、Control または K2 程度の運動強度でクーリングダウンを行うことが望ましい。

4-3 クーリングダウンの運動強度と心拍数

各試行の Post2 から Post3 における心拍数の変化は、Control および K1 はほとんど変化がなかったが、K2 および K3 では大きく上昇していた。RPE および心拍数は運動強度の指標となるため、K2 および K3 はクーリングダウンの強度として適切でないといえる。Control および K1 は Post3 における心拍数の上昇がほとんどないので低強度の運動が達成されたと示唆された。つまり、心拍数の低下を第一に考えた場合は Control および K1 程度の運動強度でクーリングダウンを行うことが望ましい。

4-4 今後の展望および研究成果の利用

4-4-1 研究の展望

クーリングダウンは一般的に血中乳酸濃度を低下させることが目的となっている。この観点から考えるとスイムおよびやや低強度以上のキックでクーリングダウンを行うことが望ましいと言える。また、やや低強度以上のキックでスイムと同程度の血中乳酸濃度が低下したことを踏まえると、プル動作が顕著に観られるクーリングダウンのスイムにおいて積極的にキックを行うことでさらに血中乳酸濃度を低下させられる可能性が考えられる。この仮説を基として、積極的なキック動作を行うスイムをクーリングダウンとして行わせ、血中乳酸濃度を最も低下させる運動強度などについて今後検討していきたい。さらに RPE や心拍数を最も低下させられる運動強度の組み合わせについても検討したい。

低強度のキック (K1) をクーリングダウンとして行くと RPE が最も低くなった。つまり低強度でクールダウンを行うと、被験者の主観なストレスが最も低い状態にできると考えられる。しかしながら、血中乳酸濃度がほとんど低下していないため、高強度の筋収縮を行いやすい状態とは考えづらい。一方、「ややきつい」程度の強度でキック (K3) を行った後では、血中乳酸濃度は低下していたが、RPE と心拍数は増加していた。この状態では、高強度運動を実行できる身体状況であるが、被験者の自覚疲労症状が高い状態であるため、運動に集中できない可能性が考えられる (相良ら 2001)。

これらの中間の運動強度である「やや低強度」程度の強度でキック (K2) を行った後では、血中乳酸濃度および RPE が低下していた。つまり、生理学的に疲労から回復しやすだけでなく主観的にもストレスを感じづらい状態にすることができたと考えられる。血中乳酸濃度と RPE は、スイム後においても有意に低下し、心拍数も 100 回/分程度に低下していた。これらの結果から、スイムをクーリングダウンとして行うことが望ましいと考えられる。

他方で、心拍数が上がると血流量が増えること (堀 1976), および心拍数が 120 回/分程度の運動強度は疲労困憊に至らずに長く運動が続けられること (Maglischo2003) を鑑みると、同強度にあたる K2 のキックを本実験のクーリングダウン時間よりも長く行うことで血中乳酸濃度をさらに低下させられる可能性が考えられる。この点については、今後の実験的検証が待たれる。

4-4-2 本研究の活用機会

競泳競技の大会は競技レベルによって会場の規模が異なるのが現状である。世界大会および全国大会のように規模が大きい大会の会場では競技を行うメインプールだけでなく練習やクーリングダウンを行うサブプールが充実しているが、地方大会など規模が小さい大会はメインプールしか設営されていない。つまり、サブプールがない会場でスイムのクーリングダウンを行う場合、競技の休憩時間内で行わなければならない、レース直後のクーリングダウンは行えない。そして、本研究での冒頭でも述べたように、レース後の血中乳酸濃度は完全休息では十分に低下させられない (Jervell 1928, Belcastro and Bonen 1975, 川崎ら 2010)。したがって筆者は、本研究で得られたキック動作による血中乳酸濃度の低下効果と先行研究で示されていたペダリング運動による血中乳酸濃度の低下効果 (石川ら) から、サブプールのない会場では下肢を主体とした運動でクーリングダウンを行うことを提案する。しかし先行研究および本研究の結果のみでは、水中における下肢運動 (キック) と陸上における下肢運動 (ペダリングやジョギングなど) が同等程度のクーリングダウン効果があるかどうかは不明であるため、水中および陸上で下肢運動におけるクーリングダウン効果について検証していきたい。

4-5 結論

本研究は、全力泳後に行うクーリングダウンの運動形態および運動強度が、血中乳酸濃度、RPE および心拍数に及ぼす影響について明らかにすることを目的として行った。その結果、血中乳酸濃度、RPE および心拍数はスイムを行った後に最も低下することが明らかになったが、血中乳酸濃度と RPE はやや低強度のキックのみでもスイムと同等の低下効果があることが明らかになった。

謝辞

本研究を行うにあたり、論文指導をして頂いた主査の奥野景介准教授に深く感謝の意を表します。さらに、助言をして頂いた副査の磯繁生教授、金岡恒治准教授に深く感謝の意を表します。

また、論文作成において多忙でありながら適時助言、論文指導および実験指導など論文完成に至るまで多大なご協力を賜った植松梓さん（早稲田大学人間科学学術院博士課程）に深く感謝の意を表します。最後に実験補助等をして頂いた奥野研空室修士課程の皆様には多大なご助力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

青木純一郎 (1988): クーリングダウンの生理学 *J. J. Sports Science*, 7, 628-630

青木純一郎, 佐藤佑, 村岡功 (2001): スポーツ生理学 市村出版 45-48, 80-84

Belcastro AN, Bonen A (1975) Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise, *Journal of Applied Physiology*, 39, 932-936

Bonen A, Belcastro AN (1975): Comparison of selfselected recovery methods on lactic acid removal rates, *Medical Science Sports*, 8, 176-178

Borg G (1982): Psychophysical bases of perceived exertion, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 14, 377-381

Cooper KH (1970): The new aerobics. M. Evans Company, New York. 1st edition 36-38

舟橋道成 (2001): 水泳激運動後の漸減強度クーリングダウンに関する研究 平成 13 年度日本体育大学修士論文抄録集, 15-21

後藤真二, 檜崎龍一 (1995): 水泳による積極的回復がその後の血中乳酸動態およびパフォーマンスに及ぼす影響 *デサントスポーツ科学* 16, 209-216

Jervell O (1928): Investigation of the concentration of lactic acid in blood and urine, *Acta. Medical Scand. Suppl.* 24: 25-73

八田秀雄 (2001): 乳酸を活かしたスポーツトレーニング 講談社サイエンティフィック, 54

八田秀雄 (1985): ラットの激運動後における乳酸の酸化 - 動的回復の影響 - *体力科学* 34, 354

八田秀雄 (1991): 運動中および運動後における乳酸の代謝とその後のトレーニング効果 *体育の科学*, 41, 305-310

八田秀雄 (1989): 運動中の血中乳酸濃度を決定する要因 *体育の科学*, 39, 364-370

本郷利憲, 廣重力, 豊田順一 (2006): 標準生理学 医学書院, 851-855

堀原一 (1976): 血圧, 心拍数, 心機能および血液量の調節 計測と制御, 15, 11
星原音夢, 石井勝, 田口正公 (2002): 競泳における前日の高強度のプル・キック
トレーニングが翌日のトレーニングに及ぼす影響 日本体育学会大会号 53, 501

池上晴夫, 稲沢美矢子, 近藤徳彦 (1986): 乳酸消失からみたクーリングダウン
効果に関する研究 - 特に漸減強度の回復運動の効果について - 筑波大学体育
科学系紀要, 9, 151-158

井上正康, 倉恒弘彦, 渡辺恭良 (2001): 疲労の科学 - 眠らない社会への警鐘 講
談社サイエンティフィック, 43-49

石川雄一, 山神眞一, 岡田泰士, 藤原章司, 藤元恭子 (2005): 2回の激運動間にお
けるクーリングダウンとウォームアップが血中乳酸の動態とパフォーマンス
に及ぼす影響について 香川大学教育学部研究報告, 第1部, 123, 19-26

岩岡研典 (1990): 骨格筋, 血液の緩衝能力と運動の持続 体力科学, 4, 547-554

岩原文彦 (1998): 水泳競技後の強度を変えたクーリングダウン効果に関する研
究について-OBLA を基準として- 平成 10 年度日本体育大学修士論文抄録集,
43-48

岩原文彦, 伊藤雅充, 浅見俊雄 (2003): 自転車駆動による無酸素性運動後の効
果的なクーリングダウン強度について 体力科学, 52, 499-512

岩原文彦, 松本高明, 浅見俊雄 (2000): 4mmol OBLA を基準としたクーリングダ
ウンの効果について トレーニング科学, 12, 1-8

川崎晃尚, 栗田康弘, 小森谷勇輝, 伊藤秀兵, 植松梓, 奥野景介 (2010): 異なる
内容の休息が競泳選手の血中乳酸濃度と主観的運動強度の変化に及ぼす影響
日本スポーツ方法学会第21回大会, 25

黒沢直次郎, 菊池浩, 本多弘子 (1970): 運動後 Cooling-down の実践的研究 体力
科学 19, 67

Maglischo EW (2005): スイミングファステスト ベースボールマガジン社,
475-480

萬久博敏, 田口正公, 田井村明博, 洲雅明, 清水富弘 (1993): 競泳トレーニング
に於ける Swim・Kick・Pull の運動強度について 日本体育学会大会号, 44, 745

並木和彦, 内藤堅志, 大北文生, 村川俊彦, 高宮精 (1992): 水泳における効果的クーリングダウンに関する研究 日本体育学会大会号 43, 749

長沢純一, 吉野高順, 村岡功 (1985): 漸増最大自転車運動後の血中乳酸除去におよぼす Lactate threshold を基準としたクーリングダウンの影響 体力科学, 34, 407

野口智博, 舟橋道成 (2003): 競泳のクーリングダウンの実践的研究 -血中乳酸濃度の減少と, RPE を指標として- 桜門体育学研究, 38, 23-36

野村武男, 正野知基 (1990): 全身持久泳における生理的運動強度と主観的運動強度の対応性についての一考察 日本体育学会大会号 41, 582

荻田太, 小野寺丈晴, 若吉浩二 (1998): 超最大強度におけるプル, キック, スイム中の代謝特性 水泳水中運動科学, 1, 13-18

小野寺孝一, 宮下充正 (1976): 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性 -Rating of perceived exertion の観点から 体育学研究, 21, 191-203

Richardson TM, Zoerink D, Rinehardt FK, Cordill M, Bouchier N, Latham C (1996): Recovery form maximal swimming at the predicted initial onset of blood lactate accumulation, *Journal Swimming Research*, 11, 30-35

Royce J (1969): Active and passive recovery from maximal aerobic capacity work, *International Zeitschrift fur Angewandte Physiologie EinschloieBlich Arbeite physiologie*, 28, 1-8

相良博昭, 白井良昌, 中村靖 (2001): 実習時における自覚疲労症状及び RPE の検討, 関西外国語大学教育研究報告書, 2

下井一夫, 上林久雄, 舟橋明男 (1982): 血中乳酸濃度減少からみた 10 秒間激運動後の回復運動における強度と継続時間の影響 高知大学学術研究報告 自然科学編, 30, 55-76

Simonson E (1971): *Physiology of work capacity and fatigue*, Charles C Thomas, Springfield, 5-7

田中邦彦, 寺田光世, 原田明正 (1992): 血中乳酸からみたクーリングダウンの至適強度に関する研究 日本体育学会大会号, 43, 323

Vrijens J, Hoekstra P, Bouckaert J, Van Uytvanck P (1975): Effects of training on maximal working capacity and haemodynamic response during arm and leg-exercise in a group of paddlers, *Europe Journal Applied physiologie* , 34, 113-119

Waglow IF (1959): Nausea resulting from exercise, *Physical, Educator*, 16, 23-24

湯浅景元, 矢田秀昭, 朝比奈一男 (1980): 最大下の腕,脚, および「腕+脚」作業に対する酸素摂取量, 心拍数, 換気量応答 体力科学, 29, 5-10

湯浅景元, 矢田秀昭, 藤松博, 朝比奈一男, 福永哲夫 (1978): 最大下の腕, 脚, および腕と脚の同時作業が, 最大酸素摂取量と心拍数に及ぼす影響 中京体育学研究, 18 , 65-71

財団法人日本水泳連盟 (1982): 競泳コーチ教本 大修館書店, 29-33