

水温の影響

Effect of Water Temperature in Humans during Water Immersion

須 藤 明 治

Akiharu SUDO

ABSTRACT

The purpose of this study was to clarify the effect of water temperature on respiratory regulation and plasma catecholamines in humans during water immersion.

The effect of water temperature was investigated in the field of the neutral temperature. The effect of water pressure was greater in the erect posture in water than that of temperature sensibility. Briefly, since parasympathetic nervous activities are promoted and sympathetic nervous activities are blocked by increase in renal blood flow due to increase in venous reflux, the effect of water temperature is considered to be slight^{2) 16) 26)}.

Water temperature was 30°C when pulse rate decreased to the lowest level and the pulse rate was found to be lower at the neck water level than at chest water level in the field of the neutral temperature^{9) 17)}.

The reason why pulse rate was the lowest at 30°C is considered as follows:

Since respiratory rate and pulmonary ventilation (l/min) decrease to the lowest level at 30°C¹⁷⁾, it is presumed that parasympathetic nervous activities were promoted most potently and sympathetic nervous activities were blocked most potently. However, it is also reported that parasympathetic nervous activities are more potent at 25°C than at 30°C. Therefore, the sympathetic nervous activities are not clear.

On the other hand, the reason why pulse rate is lower at the neck than at the chest is considered as follows: The decrease in the functional residual was reduced by the increase in closing volume and hence the difference in alveolar PaO₂ increased.

As a result, the acceleratory pulse center was stimulated by the decrease in oxygen concentrations in the blood and pulse rate became higher at the neck water level than at the chest water level. Since the effect of water pressure is greater at the neck water level than at the abdominal wall and chest water levels, oxygen intake at the rest and sitting position in the neck water level is considered to be larger to cope with the requirement of oxygen^{8) 19) 25)}.

In conclusion, recently underwater exercise is now popular, but underwater exercise appropriate for the environment should be taken, understanding the effect of water temperature and water level sufficiently.

Key words; Neutral temperature, Water pressure, Parasympathetic nervous activity, Heart rate

はじめに

18世紀から環境温度が変化しても体の温度がほぼ一定に保たれている動物を恒温動物、環境に左右される動物を变温動物と言ってきた。しかし、变温動物も環境を選んで移住する行動により、一定に体温を保っていることからこの变温動物という言葉は不適切であると考えられ、1970年以降現在は、体内で熱が生産されて高い代謝率により体温を維持している動物を内温動物、外の環境から熱を取り入れて体温を維持している動物を外温動物と言うようになった。

ヒトのように内温動物では、生体の熱产生と生体からの熱放散が等しくなるように調節され、その結果生体内部の温度（核心温度）をほぼ一定に維持している（図1）。熱产生においては、安静時では基礎熱产生として主に脳および肝臓・腎臓・消化器などで行われ、運動時などはその強度に応じて筋による熱产生が行われる。例えば、肝臓の温度は38°Cまたはそれ以上で、腎臓、肺臓、

十二指腸は37.7~37.9°C前後と言われている。

このような体の内で產生された熱は、主に体表面に運ばれ、放射・伝導・対流・蒸発により皮膚や気道から放散されている。

この放射と伝導・対流による熱放散は、皮膚温と環境温度の差により決定し、室温が36°Cでは平均皮膚温と室温が等しくなるため、これから熱放散は0となる。また、室温が下がるにつれてこの熱放散は多くなり、逆に室温36°C以上では、放射と伝導・対流により体に熱を吸収することになる。蒸発する時に、1g当たり580calの蒸発熱が奪われる。この放散は、蒸発皮膚表面積と皮膚表面と環境の蒸気圧の差の両者に比例すると言われている。室温が29°Cを超えてくると普段意識されない蒸発（不感蒸発）に加えて、発汗が始まり熱放散量は増加していく¹⁶⁾。

一方、水中では熱伝導率が大きいため、特に不感温度以下では熱放散は主に伝導・対流により行われ、水と接している手や足および胴体部表層（外殻部）の温度は低下すると考えられる。不感温度領域では、酸素摂取量も他の温度領域と比べ低値をとっているので、熱放散は一番少ない状態であると考えられ、不感温度以上では、熱吸収と蒸発（発汗）による熱放散も行われていると思われる。

I 不感温度領域における身体反応

水の熱伝導率 (1.4×10^{-3} cal/cm·sec·deg) は、空気のそれ (0.06×10^{-3} cal/cm·sec·deg) より約23倍大きく、低水温域では約25倍となるので陸上時と比べ体から熱が奪われやすくなることになり、熱の放散を防ぐために様々な熱产生反応が起こっている。

水中に入った場合、水温が高いか低いかという刺激は皮膚が察知する。特に皮膚は、外側から表皮、新皮、皮下組織から成り、新皮には外界からのさまざまな刺激をとらえる感覺受容器がある。

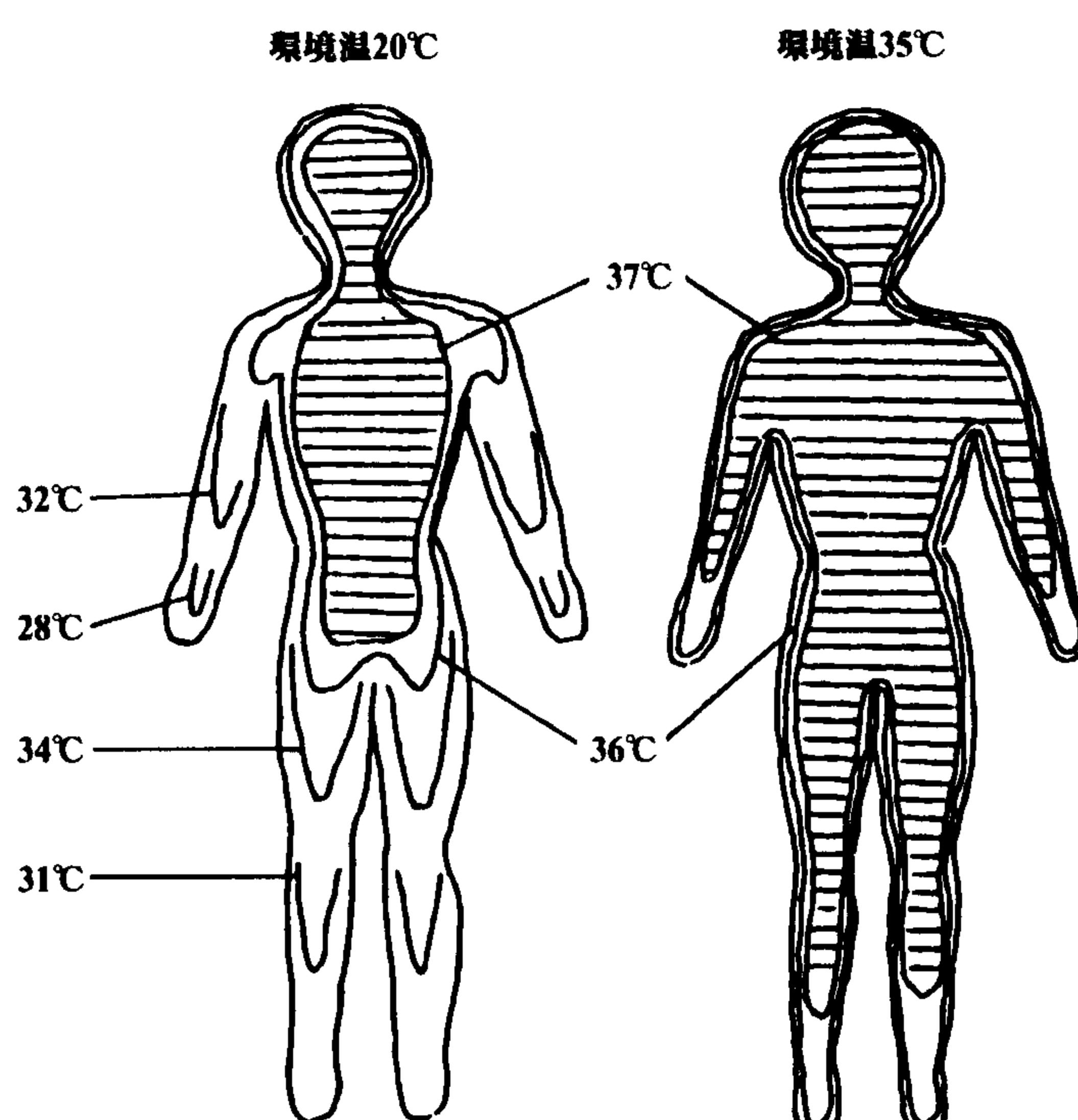


図1 20°Cと35°Cにおける身体の温度変化
(■:核心部を示し、一定した体温を保証、他の部分は外殻部を示し、環境条件により変動する)
(本郷ら¹⁶⁾「標準生理学」表13-24より改変)

特に、約40°Cで検出する温点 (1 cm^2) 当たり顔面や手指で1~4個程度、その他の部位では1個以下と約15°Cで検出する冷点 (1 cm^2 当たり鼻で8~13個、胸で9~10個、指掌で2~4個程度) が存在する。また、皮膚の温度感覚を決める要因としては、皮膚の温度だけでなくその変化と早さの方向、刺激させる皮膚の広さなどに影響されると言われている¹⁶⁾。

つまり、顔や手に温点や冷点の両方が存在し、面積の大きい背や腹または脚などに冷点が存在していることが解った(表1)。

この温度感覚については、一般的に30°Cから36°Cを無関帯(Comfort)といい温度感覚の順応が起こり、36°C以上または30°C以下ではそれぞれ温かさと寒さを感じると言われている。また、皮膚が45°C以上になると熱痛、15°C以下になると冷痛を感じるとされている。特に水中では熱伝導率が高いことから、水中安静時の皮膚温及び体内温を少ないエネルギーで一定に保つことができる水温域は、不感温度(36°C前後)領域ではないかと考えることができる。そして、個人差はあるがそれ以下の温度では生体にとって冷刺激となり、それ以上の温度では温刺激となるのではないかと思われる。

表1 皮膚の冷点および温点の分布 (1 cm^2 当り)
(本郷ら¹⁶⁾「標準生理学」表13-7より改変)

	冷点	温点
前額	5.5~8	
鼻	8~13	1
顔面	8.5~9	1.7
胸	9~10.2	0.3
腹	8~12.5	0.3
背	7.8	
指、掌側	2~4	1.6
大腿	4.5~5.2	0.4
小腿	4.3~5.7	
足底	3.4	

II 冷及び温刺激における体温調節反射

冷刺激では、胸や背など面積の広い部分の冷受容器からの情報が脊髄を通じて視床を介して大脳皮質感覚野に伝えられ冷覚を起こし、その情報は視床下部の体温調節中枢に伝えられる(求心路)。その結果、交感神経が刺激され神経末端からノルアドレナリンが放質され、 α 1受容体に結合すると皮膚の血管及び立毛筋を収縮させる。また、副腎隨質支配の交換神経も興奮し、副腎髓質よりカテコールアミン(アドレナリン約80%、ノルアドレナリン約20%)が放出され、骨格筋や肝臓の血管を拡張させ熱産生を促進する。同時に、視床下部からTRH(甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン)が高濃度で下垂体前葉に分泌され、下垂体前葉からTSH(甲状腺刺激ホルモン)が分泌され、甲状腺受容体に結合し甲状腺ホルモン(L-T4:L-サイロキシン、L-T3:L-トリヨードサイロニン)を分泌して、代謝を亢進し熱産生を増加させる(遠進路)。この時、ノルエピネフリン(ノルアドレナリン)はTRHの分泌を促進させ、ドーパミンは抑制的に作用することが知られている。

また、上記と同時に体性運動神経系の運動神経が興奮し骨格筋の収縮(ふるえ)による熱産生もおこる(遠心路)(図2)。

このように冷刺激には、熱産生の促進と熱放出の抑制が起こり、体温の低下を防いでいることが解っている。

しかし、水中ではさらに、顔の表情をつくる筋肉や味覚、唾液の分泌に関係している顔面神経(副交感神経)や歯の感覚を担っている三叉神経(眼神経・下頸神経・上頸神経)に冷たい水がかかるなどの刺激を与えると、その刺激は延髄を伝わり副交感神経を促進し、血管の拡張・心拍数の徐脈・心収縮力の低下・心拍出量の減少を引き起こすことが知られている。

のことから、不感温度以下の水温での入水は、皮膚からの冷刺激による交感神経の興奮と副交感

神経の作用も影響し、その両刺激の強さや個々の感受性の違いによって、どちらの影響が反映されるかが決まるのではないかとも考えられる。

一方、温刺激では、皮膚の温受容器からの情報が視床を介して大脳皮質感覚野に伝えられ温覚を起こし、その情報は視床下部の体温調節中枢に伝えられる。また、体内調節中枢神経自体も深部温の上昇を察知する（求心路）。その結果、交感神経よりアセチルコリンが分泌されムスカリン様受容体と結合して発汗を起こし、皮膚の血管を拡張して熱放散を促進する。同様に、甲状腺ホルモン分泌の減少により熱産生を抑制する。また、温

覚刺激により下垂体後葉からバゾプレッシン（抗利尿ホルモン）が分泌促進され、腎臓の集合管に作用して水の再吸収を促進し、尿量を減少させる。そして、上記と同時に体性運動神経系の抑制により運動低下もおこる（遠心路）¹⁶⁾。

このように温刺激には、熱産生の抑制と熱放出の促進により、体温の上昇を防いでいる（図2）。

しかし、バゾプレッシンの分泌は心肺部圧受容器からの刺激により調節されていることから、水中に入ることで水圧の影響から静脈の還流が増大して血流量が増加するので、血液量の増大を心肺部圧受容器が感受するとバゾプレッシンの分泌を

抑制して尿量を増やして血流量を減らす働きをする。このことから、心肺部圧の刺激か高温刺激かの両刺激の程度により、分泌反応が異なってくるのではないかと考えることができる。例えば、横になっていた人が立ち上がるだけで血漿のバゾプレッシン濃度は8倍になると言われている。

III 不感温度領域における水圧の影響

O'Haraら²³⁾・Norskら²²⁾・Lasenら¹⁹⁾は、不感温度領域（35°C）前後・頸部水位での長時間（2～4 hr）の入水では、ノルアドレナリン（ノルエピネフリン）・アドレナリン（エピネフリン）のカテコラミン濃度が減少するという結果を得て、交感神経が抑制されていることを報告している。また、阿岸¹⁾は、不感

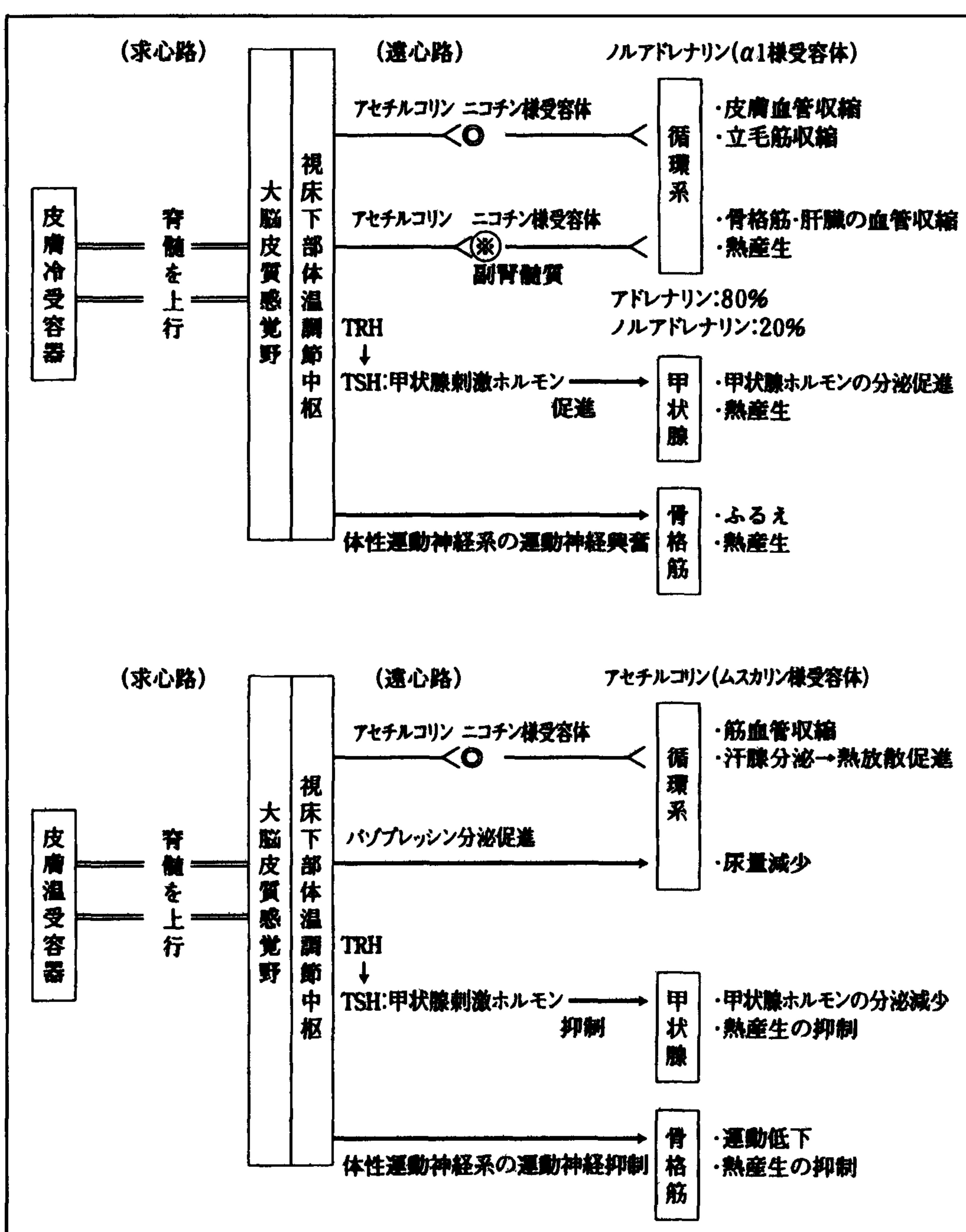


図2 一般的な体温調節反射

温度より低い25°Cまたは不感温度より高い42°Cでは、尿中カテコラミン濃度の減少に伴い、血漿レニン活性の低下、アルドステロン濃度の低下及び尿Na⁺排泄の上昇が確認させている。しかし、Weissら²⁶⁾は、水温33°Cでは10分間という上記より短い入水時間ではあるが、水圧の影響をなくすために水中姿勢を仰臥位（仰向け）の状態にした時に、陸上時と比べ血漿レニン活性・アルドステロン濃度・血中カテコラミン濃度の変化が特に起こらなかったことを報告している（表2）。

一般に、レニン-アンギオテンシン系において、レニンは腎血流が少なくなったり、尿中のCl⁻またはNa⁺濃度が減少したり、腎臓を支配する交感神経の興奮によって腎の傍系球体細胞から血中に分泌され、アンギオテンシノーゲン（レニン基質）の10個のアミノ酸を切断してアンギオテンシンⅠを産生すると言われている。そして、肺などに存在するアンギオテンシンⅠ交換酵素によって末端の2個のアミノ酸を切断してアンギオテンシンⅡに変換させる。このアンギオテンシンⅡは、強力な血管収縮作用によって血圧を上昇させたり、副腎皮質からアルドステロンを分泌を促進させる。このアルドステロンは、腎の集合管に作用してNa⁺の再吸収とK⁺の排泄を促進すると言われている¹⁶⁾（図3）。

逆に、血流量が増加（：頸部や胸部レベルの水位で入水）すると、圧・伸展受容器の刺激は、頸動脈洞や大動脈弓を刺激して脳の中枢神経に作用して副交感神経促進により心拍数の減少、交感神経抑制により血管収縮緩和・血管抵抗の緩和をもたらし血流量の増大に伴う血圧の増加を減少させるように働く。

また、中枢神経系の刺激によりバゾプレッシン分泌は抑制に働き尿量を増加させ、循環血漿量を低下させる。一方、心房圧への刺激は、血流量の増加により心房圧が高くなり心房が伸展すると心房筋で心房性Na利尿ペプチド（ANP）が合成され分泌が促進される。このANPは、血管平滑筋の収縮を緩和させることで血圧を低下させると

共に腎のレニン及びアルドステロンの分泌を抑制させ、腎の輸入細動脈への影響と共に尿中のNa⁺排泄量を増加させ、循環血漿量を低下させて、バゾプレッシンと同様に血圧の上昇を食い止めると言われている^{2) 16)}（図4）。

つまり、水圧の影響をなくした時の不感温度の影響の結果²⁶⁾を考慮に入れると不感温度領域では、温度感受性の働きより水圧の影響による静脈還流の増加による腎血流の増加の影響が大きく作用して、不感温度の作用は水圧の影響による副交感神経促進・交感神経抑制に呼応した反応であり、その影響は少ないのではないかと考えることができる。

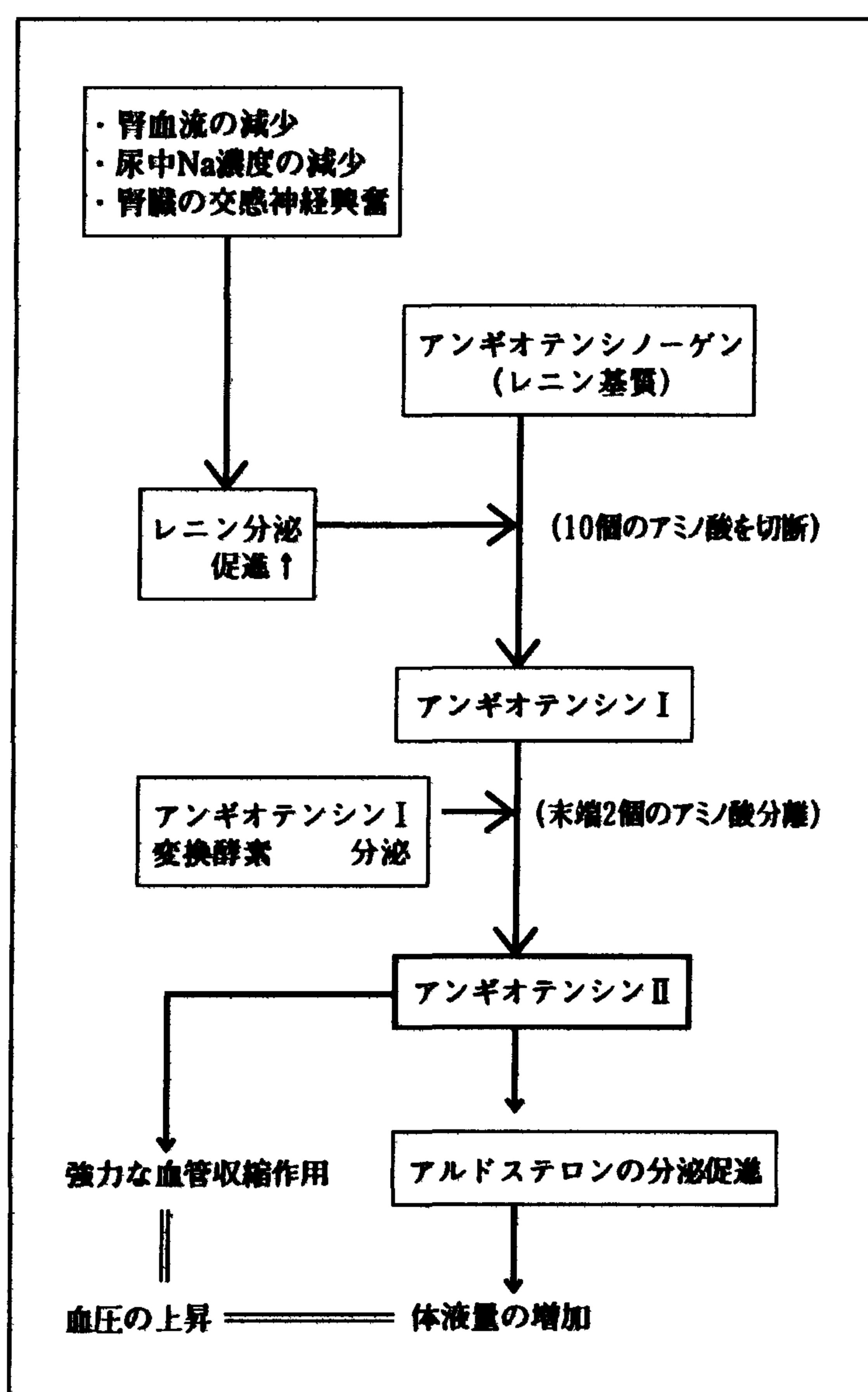


図3 レニン-アンギオテンシン系の血圧上昇メカニズム
(本郷ら¹⁶⁾「標準生理学」表9-123より改変)

表2 水温が生体に及ぼす影響

各水温における自律神経の活動状況						
著者名 (年代順)	姿勢 水位 浸水時間	水温 (℃)	水温 (℃)	被験者データ 年齢・身長・体重 %Fat		
6) Craig, A. B. JR . et al. (1966)	半横臥 頸 (1hr)	水:24・26・28・30 ・32・34・36・38 (±0.05℃) 室:25～28℃	男10 (26±5.6歳) (72.8±5.2kg) (177.1±3.2cm) (15.5±8.1%)	測定時間 (午前か午後に統一、12/28～4/15までに実施した) 直腸温 (陸上値との比較) 24～30℃:15分後まで増加、30分後より減少 31～35℃:初めから減少 36～38℃:初めから増加 (入水60分時の平均値でグラフより推定した。また陸上値より+・-かを示す)	耳温 (陸上値との比較) 24～34℃:初めに増加、20分後より減少 34～35℃:初めから減少 35～38℃:初めから増加	
1) 阿岸祐幸 (1977)	長座 頸部 (10min)	水:42・25℃	男		直腸温 (午前9時・午後9時) (数値はグラフより推定した値; 単位ug/2hr)	
					午前9時 2.3±0.5 6.4±0.7††	午後9時 2.5±0.4 5.0±0.7†
					25℃:入浴後 42℃:入浴後	1.6±0.4† 1.6±0.3
					入浴前 3.3±0.8	4.2±1.0
					入浴後 6.4±1.0†	9.0±2.1†
					42℃:入浴後	1.0±0.3 1.8±0.3† 1.8±0.5†
18) Krishna, G. G . et al. (1983)	座位 頭部 (4hr)	水:34.5±0.5℃	男2, 女2 (24～28歳) (67±9kg)	測定時間 (午前9時より入水) 尿Na排泄 (ug/min)	血漿レニン活性 (ng/ml·h)	アルドステロン ドーパミン (pg/ml)
				34.5℃ 入水4時間後	120±18 304±37†	5.9±1.5 2.3±0.9†
				34.7℃ 入水2時間後	11.0±2.4†	15.7±2.0 11.0±0.3 1.8±0.3†
						43±6 63±11†
23) O'Hare, J. P. . et al. (1986)	座位 (1.07m) (4hr)	水:34.7±0.3℃	男5, 女5 (20～56歳)	測定時間 (午前9時30分より入水) (以降、アルドステロンのみ入水3時間後の値) ノルアドレナリン ペチド:ANP (pmol/l)	血漿レニン活性 (ng/ml·h)	アルドステロン ドーパミン (pmol/l)
				入水前	1.85±0.15	0.24±0.06 626±72 0.09±0.02
				34.7℃ 入水2時間後	1.23±0.13†	0.11±0.10† 0.49±0.34† 203±17†
						0.11±0.10† 0.49±0.34† 203±17† 0.06±0.01†
2) Anderson, J. V . et al. (1986)	座位 躺状突起 (3hr)	水:34.5～34.9℃	男4, 女4 (23～39歳) (44～77kg)	測定時間 (午前10時～午後1時まで入水) (数値はグラフより推定した値) 心房性Na利尿 ペプチド:ANP (pmol/l)	Sodium FE _{Na} (mmol/min)	Volume (ml/min)
				34.5℃ 水中	2.2±0.4 7.7±1.0†	0.5±0.2 1.5±0.2† 3.7±0.6 8.6±0.9† (3hr) (2hr)
26) Weiss, M., et al. (1988)	仰臥位 顎出する (10min)	水:21・27・33℃ 室:24～26℃	B:男12 (23.6±1.0歳) (72.8±6.0kg)	測定時間 (?) (数値はグラフより推定した値) ノルエピネフリン エピネフリン (nmol/l/h)	血漿レニン活性 (ngATI/ml/h)	アルドステロン (pg/ml)

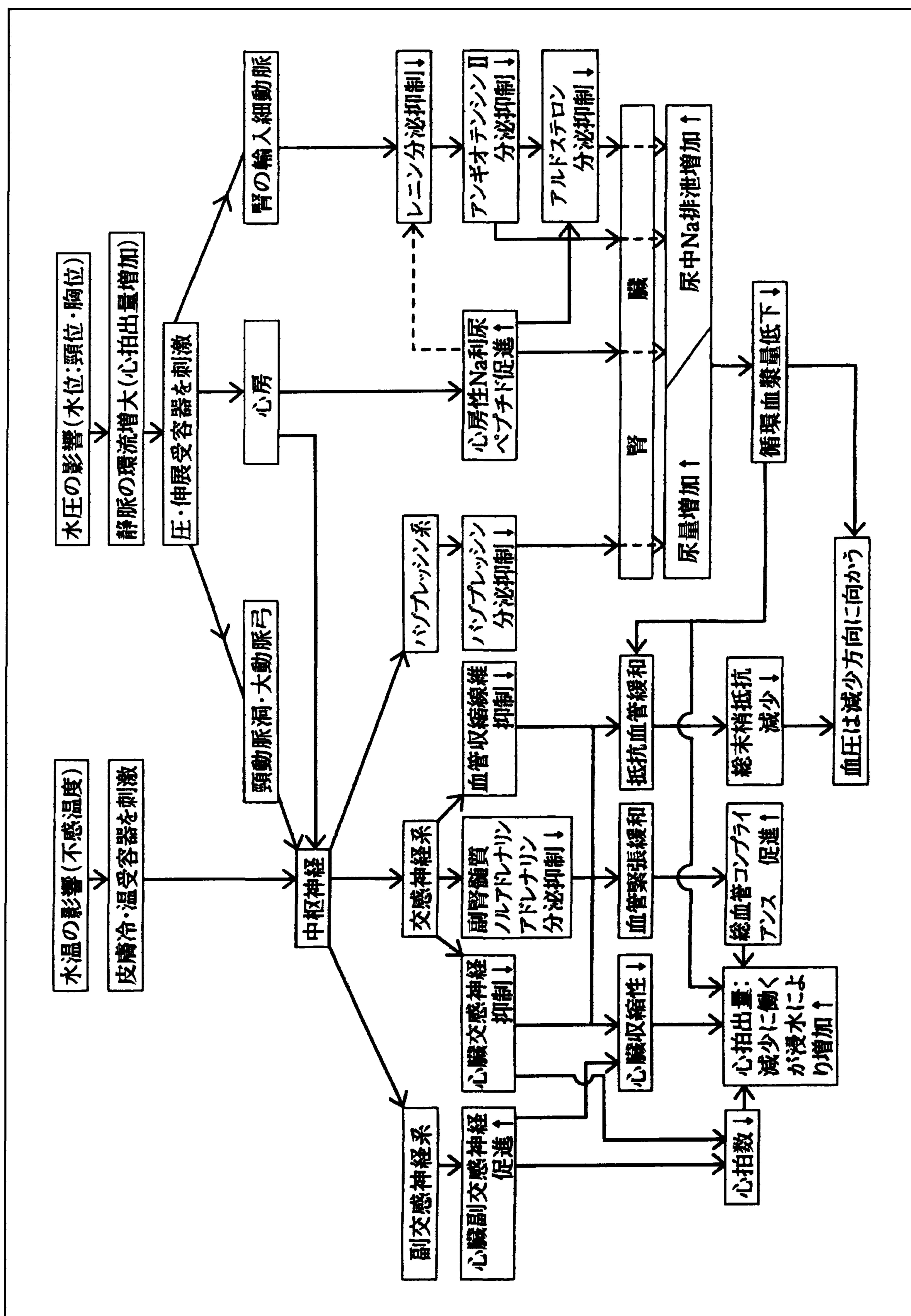


図4 不感温度時の水圧の影響（本郷ら¹⁶「標準生理学」図12-6・図9-119より改変より改変）

IV 浸水時の徐脈現象

各水温における心拍数の変動では、藤沢ら⁹⁾・木住野ら¹⁷⁾のデータより、心拍数は30°Cが最も低下し、不感温度領域まで陸上値と比較して低値をとることが解った（水浸姿勢：長座位・座位、水位：頸部・腋下）。また、水圧の影響をなくすため半横臥位の姿勢をとり水位は頸までとした時のCraigら⁶⁾のデータでは、心拍数は32°Cが最も低下し、不感温度領域まで陸上時と比較して低値をとることが判明した。次に、各水圧における心拍数の変動では、不感温度時のFarhiら⁸⁾・Larsenら¹⁹⁾のデータより、心拍数は頸部水位より胸部水位の方が低値をとることが解った。

以上のデータより、水温は30°C前後、水位は胸部レベルの時に最も心拍数は低値をとるのではないかと推測することができる。

水温30°Cで最も低値をとる理由としては、藤沢らの報告⁹⁾では、呼吸数及び分時喚起量が30°Cの時に最も低値をとることから、この時に心臓副交感神経の促進と心臓交感神経の抑制が一番大きくなつたのではないかと推測することができた。しかし、心臓副交感神経活動は、むしろ30°より25°Cの方が高いという報告¹⁷⁾もあることから、原因を追及するためには今後の更なる研究が必要であると思う。また、Craigら⁶⁾の32°Cが最低値をとった理由としては、被験者の基礎代謝が日本人より高い外国人という点と水圧の影響が少なくなったという点が考えられる。特に、後者の半横臥位の姿勢時のデータが少ないとから、原因を推測することは困難であるが、上記と同様にこの32°Cの時に心臓を司る副交感神経活動が最も亢進していたのではないかとも考えることができる。

一方、頸部より胸部がより少ない心拍数になる理由としては、胸部より頸部の方が心拍出量が多く^{8) 19)}、呼吸機能における酸素運搬能においてクロージングボリュームの増大による機能的残気量の低下、それに伴う肺胞-PaO₂較差の増大による結果、血中酸素濃度の低下²⁵⁾により、促進中枢を刺

激して胸部より頸部の方がより高値をとったのではないかと推測することができる。また、胸部と頸部の安静座位での酸素摂取量では、頸部の方が多い¹⁹⁾ことから、頸部水位の方が腹壁や胸郭への加圧による影響が大きく、そのために心拍数を増加させることで対応しあうとしたのではないかとも考えることができる。

また、頸部までの浸水により冷刺激の皮膚面積が増大して交感神経が促進した可能性もあると思われる。

特に、昨今アクアビクスと称した水中運動や水中ウォーキングが盛んに行われているが、いずれも心拍数を指標とした水中運動処方を行う必要がある。この時、個々人のその日の体調や使用するプールのコンディション（水温・室温・水位）に適応した個々人の心拍反応が存在することを念頭に入れる必要がある。具体的には、陸上での安静立位時の心拍数値と水中での安静立位時の心拍数値とを比較して、その減少分を差し引いた値を参考にした運動目標心拍数の設定を行うことが大切である。最近のデータでは、同被検者において長期間にわたる水中運動を行っていくと慣れていない初期では徐脈の程度が大きく、だんだん慣れていくにしたがい徐脈の程度が少なくなってきたという報告があることから、刻々と変化する体調を指導者は察知する必要があると思われる。

ま と め

水温の違いによる身体的な影響を解説した。特に、最近ではスイミングクラブなどでもバーデプールと称して34°C位の水温で胸部レベルのプールを新設し高齢者会員のニーズに答えようとしている。今回は、従来のスイミングプール施設で最も多く設定している水温30°C、水深1.1m（剣状突起部レベル）が最も徐脈が大きいことが判明した。特に、高齢社会となりプールにお年寄りが多く来るようになるとその水温の設定も多様にせざる終えない。また、プールでリラックスするためのプログラムをつくると副交感神経系の活動が

促進されると予想されるが、この副交感神経系の促進は交感神経系の活動との落差が大きいと中高年者の冠動脈の収縮（ひきつり）が起きやすいという報告も存在する。

つまり、不感温度領域の水温であってもいきなりプールにはいるのではなく、ゆっくりと浅いところから入水し、水環境に体を序々に適応させることが大切であると思われる。

引用・参考文献

- 1) 阿岸祐幸：温度刺激によるホルモン動態，最新医学，**32**:1818-1821, 1977.
- 2) Anderson, J. V., et al:Atrial natriuretic peptide : physiological release associate with natriuresis during water immersion in man. Clin. Sci, **71**:319-322, 1986.
- 3) Arborelius, M. Jr., et al:Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. Aerosp. Med, **43**:592-598, 1972.
- 4) Begin, R., et al:Effects of water immersion to the neck on pulmonary circulation and tissue volume in man. J. Appl. Physiol, **40**:293-299, 1976.
- 5) Boning, D., et al:Exercise versus immersion : antagonistic effects water and electrolyte metabolism during swimming. Eur. J. Appl. Physiol, **57**:248-253, 1988.
- 6) Craig, A. B.Jr., et al:Thermal regulation during water immersion. J. Appl. Physiol, **21**:1577-1585, 1986.
- 7) Epstein, M.:Renal effects of head out water immersion in man:implication for an understanding of volume homeostasis, Physiol. Rev, **58**:529-603, 1978.
- 8) Farhi, L. E. et al:Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35°C, Res. Physiol, **30**:35-50, 1977.
- 9) 藤澤宏幸ら：水浸時呼吸調節における水温の影響，日温氣物医誌，**58**:109-114, 1995.
- 10) Gabrielsen, A., et al:Central cardiovascular pressures during graded water immersion in humans. J. Appl. Physiol, **75**:581-585, 1993.
- 11) Galbo, H., et al:The effect of water temperature on the hormonal response to prolonged swimming. Acta. Physiol. Scand, **105**:326-337, 1979.
- 12) Greenleaf, JE.:Physiological response to prolonged bed rest and fluid immersion in humans. J. Appl. Physiol, **57**:619-633, 1984.
- 13) Guezenec, C. Y., et al:Plasma renin activiey, aldosterone and catecholamine levels when swimming and running. Eur.J. Appl. physiol, **54**:632-637, 1986.
- 14) Harrison. M. H., et al:Blood volume and protein responses to skin heating and cooling in resting subjects.J. Appl. Physiol, **54**:515-523, 1983.
- 15) 林石松ら編：水中ランニング運動が腎臓機能に及ぼす影響，**40**:48-59, 1991.
- 16) 本郷利憲ら編：標準生理学，医学書院，東京，1994.
- 17) 本住野孝子ら：短時間腋の下水準における水浸が心臓自律神経系活動に及ぼす影響—水温25°C, 30°C, 34°Cでの検討，**46**:101-112, 1997.
- 18) Krishna. G. G., et al:Catecholamine responses to central volume expansion produced by head out water immersion and saline infusion. J. Clin. Endocrinol. Metab, **56**:998-1002, 1983.
- 19) Larsen. A. S., et al:Volume-homesostatic mechanisms in humans during graded water immersion. J. Appl. Physiol, **77**:2832-2839, 1994.
- 20) Nadel, E. R., et al:Energy exchanges of swimming man.J. Appl. Physiol, **36**:465-471, 1974.
- 21) 永浜明子ら：25度・30度水中浸漬が左心容量および自律神経系に及ぼす影響，いばらき健康・スポーツ科学，**11**:11-17, 1994.
- 22) Norsk, P., et al:Catecholamines, circulation, and the kidney during water immersion in humans. J. Appl. Physiol, **69**:479, 484, 1990.
- 23) O'Hara, J. P., et al:Plasma catecholanmin levels during water immersion in man. Horm. Metabol. Res, **18**:713-716, 1986.
- 24) 須藤明浩：水中の左心機能，鹿屋体育大学，修士論文，1991.
- 25) 須藤明浩：連載4，水の特性を活かした運動形態を考える，スクールサイエンス，1998.
- 26) Weiss, M., et al:Effects of temperature and water immersion on plasma catecholamines and circulatioll. Int. Sports Med, **9**:113-117, 1988.