

- 10) J. Belehdadek : Protoplasma monographien
Temperature and living matter 1935.
- 11) A. Pütter : Vergleichende Physiologie 1911.
- 12) Mollisch : Untersuchungen über das Erfrieren
der Pflanzen 1897.
- 13) Payne : Quaritary Review of Biol. Vol 1, 1926.
- 14) Rahm : Zeitschr. für allg. Physiol. Bd 20, 1923.
- 15) Richter : Handbuch d. Zoologie III Bd. 1926.
- 16) Traumann : zit. nach J. Belehdadek.
- 17) J. Luget : Temperature, Its Instrument and
Control in Science and Industry 1939.
- 18) Rahm : Biol. Zent. blatt Bd 15, 1926.
- 19) Lidforss : zit. nach Gunner Nilson-Leissner,
1907.
- 20) Baumann : Zeitschr. für wissenschaft. Zoo-
logie, 118 Bd.
- 21) Gunner Nilsson-Leissner : The Quarit. Re-
view of Biol. Vol4, 1929.
- 22) 飯島 : 動物学提要.

低温に関する研究(第3報)

凍結の筋分界電流に及ぼす影響に就て

岡山医科大学生理学教室(主任 故 生沼教授)

医学士 竹下 明夫

[昭和27年4月15日受稿]

第1章 緒言

先に著者は蛙の縫匠筋を凍結し之を一定温度に10分間保つて融解後の筋の興奮性に就いて実験を行つた。その際凍結温度が -3.0°C 以上ならば攣縮高は減少するが興奮性は保持される事を経験した。

併しながら組織中に結氷が生ずる事により、又筋の生物電気上に何等かの変化無きやと考へ凍結の筋分界電流に及ぼす影響に就ての実験を企てた。生物電気の凍結による影響に関する文献は未だ見当たらない。

第2章 実験方法

実験材料は冬眠中を土中より掘り出した「とのさまがへる」(*Rana nigromaculata*)の縫匠筋を用ひた。実験期間は昭和16年11月初旬より翌年1月に及んだ。負傷面は筋の恥骨端附着部より筋長の $\frac{1}{8}$ 部を鋭き鋏にて切断して創つた。

分解電流測定には Cambridge 製の Potentio-

meter 及び示針検流計(感度 7.1×10^{-6} Volt)を用ひ補償法によつた。凍結は温度 -1°C より -3°C の各場合に10分間凍結した。その方法は既に第1報に述べた為省略する。冷却を開始してより融解後再び分界電流測定までに大凡45分を要した。この凍結前と後に於ける筋の分界電流を測定した。

第3章 実験成績

第1節 正常分界電流電動力及びその時間的測定

対照実験として凍結の操作と同じ時間中、正常の筋は幾何の電動力の低下を来すかを驗しなければならぬ。その為正常筋の電動力及び其の時間的経過を測定した。凍結の操作が45分内外であるから45分後の電動力を特に測定した中の9例の実験を行つた結果、負傷面作製直後は57.2mV乃至40.6mV平均47.6mVの電圧を生じたるものが45分間に於ける電圧低下の度は85%乃至65%、平均して78%に減じている。Pauli 及び Matula の

実験では45分後は82%に減じている。故に本実験の方が之より僅かに低下度が急な事となる。

第2節 筋負傷面作製後凍結せる場合

筋の負傷面作製後その電動力を測定して直ちに凍結した。凍結はその温度を -1.0°C , -2.0°C , $-2.5^{\circ}\text{C}\sim-3.0^{\circ}\text{C}$, -3.5°C の各温度に10分間保つ様にした。融解後は Ringer 液を拭ふて後電動力を測定する。その成績は第1表上段2,3に示している。 -10°C に凍結後の筋はその電動力は42.6mV乃至23.4mVとなる。之を凍結前に比すれば平均64%に低下している。対照が78%に低下しているから非凍結の場合に比して僅かに低下してい

第1表 凍結と筋の負傷流

	凍結温度	凍結前	凍結後	低下	比較	実験例
負傷凍結面作製	-1.0°C (10分)	mv. 50.3	mv. 32.6	mv. 17.7	0.64	6
	-2.0°C (10分)	45.7	19.8	26.1	0.43	7
	$-2.5^{\circ}\text{C}\sim$	43.6	11.2	32.2	0.26	6
	-3.0°C (10分)					
凍結後負傷面作製	-1.0°C (10分)	47.8	28.0	21.2	0.58	7
	-2.0°C (10分)	48.9	25.3	22.3	0.51	6
	$-2.5^{\circ}\text{C}\sim$	50.1	13.5	35.7	0.28	6
	-3.0°C (10分)					

ることになる。 -2.0°C に凍結の時は著しく減少を来し一例にては17.5mVに減じ低下率は凍結前の35%となる。

$-2.5^{\circ}\text{C}\sim-3.0^{\circ}\text{C}$ に凍結の場合には最も著明に減じ、殆んど零に近くなる事もある。電動力は平均して凍結前の26%に減少する。

-3.0°C 以下の温度にて凍結後は電位差は零となる。之を切断して新負傷面を作つても電流は生じなかつた。又感応電流を以て刺戟したが興奮性を示さなかつた。

第3節 凍結後負傷面作製の場合

材料は前回と同様縫匠筋を用ひ之の場合には、両側の筋を成る可く負傷面を作らぬ様剔出した。脛骨端は臄の端にて切り中心端は恥骨縫際軟骨を附着して取り出す。而して一側を対照として Ringer 液に浸し置き反対側を冷却凍結に用ふ。凍結の操作は前回同様で融解後鋭利なる鋏を以て負傷面を作り電動力を測定

した。第1表下段は之等の成績を示すものである。 -1.0°C に凍結後の筋はその電動力23.6mV乃至34.2mV平均28.0mVを生ずる。

-2.0°C に凍結後は23.2mV乃至28.0mV平均25.3mVとなる。

$-2.5^{\circ}\text{C}\sim-3.0^{\circ}\text{C}$ に凍結の筋は低下の度著明で平均13.5mVの電動力を示す。

之等の実験成績は第2節に於ける成績とはほぼ同様である。凍結温度が -3.0°C を超過し低下したる場合は負傷面作製をなすも電位差を生じなかつた。

第4節 一部を凍結して生ずる電位差

剔出した筋体の半分を Ringer 氏液中で凍結し他の半分を非凍結としこの二者間の電位差を検した。

筋の半分を仮定した横断線まで凍結するには筋を試験管中に上より糸にて吊し下半部を R 氏液に浸す。而してこの部を一定温度に10分間凍結した。電位差測定には凍結後の部分に置いた電極の位置を数回変更して之と健康部との間の最大電位差を測定した。第2表は之等の成績を示している。

第2表 一部凍結に由る電位差

凍結温度	電位差	実験例	室温
-1.0°C	0~9.2mv.	6	8~10°C
-2.0°C	5.8~16.8	6	8~11°C
-4°C	168.~26.7	6	8~11°C
-6°C	24.4~39.2	5	8~11°C
雪状 CO ₂ にて凍結	35.4~45.0	5	9~12°C

-1.0°C 凍結後には6例中4例は電位差を示さない。2例は凍結側が陰性となり、その電位差9.2mVと5.2mVである。此の電位差は -2.0° にては明かとなり、その値5.8mVより16.8mVを示し実験6例の平均は11.9mVとなる。更に -4.0°C , -6.0°C , 雪状炭酸による凍結と温度が低下するに随つて、それぞれ22.8mV, 32.3mV, 41.6mVと漸次電動力の高い値が出てくる。

第4章 總括竝に考按

叙上の実験系列に依つてみるに、凍結によ

つて筋の分界電位差は著明の低下を示す。而して凍結温度が下降するに随つて低下度が増加し、 -3.0°C 以下になつた場合は分界電流は零となる。又一つの筋体に於て凍結部と非凍結部を作つた場合之を連結すれば凍結を受けし部は陰性を帯びて分界電流を生じ凍結温度下降する程電位差大となる。由来筋の分界電流は筋が疲労したり弱つたり旧くなれば低下する事は周知の事実である。凍結による低下は凍結によりて筋肉の構造が破壊されることを示す。

さて凍結に依る生体組織の損傷の原因に就ては諸研究者の言ふ説を要約すれば次の三点となる。

1. 結氷による機械的損傷
2. 結氷による細胞壁より水分脱出による損傷
3. 細胞原形質の変化

之等の中の一つを主張する者あり又二つ以上が組み合つて組織死が起ると言ふ者あり。元來筋を凍結した場合全部が凍結状態にあるわけではない。

Jordan-Lloyds によれば筋の含有水分の凍結する割合は凍結の温度が -1.0°C にては 60%、 -2.0°C にて 80%、 -3.0°C にて 85% 凍結すると云ふ。

結氷が筋の何処に最初生ずるかは冷却の速度に関する。即ち極めて急激な場合は細胞外と同様細胞内にも同時に結氷を起す。併し冷却の速度緩慢なる場合最初に生ずるのは血液、淋巴液、細胞間隙である。之の際細胞内は過冷却の状態にあり、又一部は結氷を起しているものも可能である。

Maximow 及び Chandler は凍結に依る細胞死の原因は原形質膜の機械的損傷であると称す。

翻つて生物電気の発生に関する Bernstein の膜説に説かれる選択的透過性を有すると言ふ膜の存在は今日尙何処にあるや明確ではないが、大体原形質膜と考へられる。仮に膜説を受け入れて、前述の凍結による細胞膜の損傷を併せ考へれば凍結に依る原形質膜の損傷

によつて半透過性は其機能を減少して今まで通過不能であつた〔陰イオン〕が一部通過可能となり此処に分界電流の低下を来すものと考へられる。

凍結による破壊作用が強度となればそれに依つて原形質膜破壊が強度となり〔イオン〕の通過が全く自由となる。かくなれば負傷面と他の部分との電位差は零となる。

本実験に於ける -1.0°C 、 -2.0°C 、 -2.5°C ~ -3.0°C の凍結に於ては破壊作用が軽く原形質膜の機能は一部分残存し〔イオン〕の半透過性は残つている。随つて電位差は低下するが残存する。 -3.0°C を過ぎた低温度の凍結によつて、此の機能は消失して電位差は零となる。又新に負傷面を作るも電流は生じない。

正常部と凍結傷害を受けし部を連結した時の電位差に就ては上記の実験から考へれば -4.0°C 、 -6.0°C に凍結の場合は半透過性の機能を消失してしまつた為正常面と連結した場合は相当大なる電位差が生ずる筈である。

しかるに凍結温度が -4.0° にて 22mV、 -6.0° にて 33mV の電動力しか出ないのは少な過ぎる感がある。この点に付いては実験に於て正常面と称する部は他部の凍結に際して直接空気に露出している為筋表面が乾燥する。又凍結の一部の影響が之に波及する事も起る。之の為に厳密なる正常面とは言ひ得ない。その為かく電位差は少いと考へらる。雪状炭酸を以て筋の一部を急速に凍結した。その結果、35.4mV—45.0mV を得た。之の時が原形質膜が完全に破壊された時と考へられる。

第5章 結 論

1) 筋の分界電流は凍結によつて著明に低下する。而して此の事は負傷面作製前凍結の場合も作製後凍結の場合もほぼ同様に見られる。

2) 筋を 10 分間凍結の場合凍結温度が -1°C の時は電動力は対照に比べて殆んど低下を見ないが凍結の温度低下と共に電動力が減じ -3.0°C を越した温度の凍結では零と

なる。

3) 筋の一部分を凍結し他部を非凍結とせ

ばその間に電位差を生ず。之は凍結の温度が低い程大となる。

文 献

- 1) Pauli u. Matula : Pflüg. Archiv. Bd. 163, (1916).
- 2) Biedermann : Elektrophysiologie. (1895), Jena.
- 3) 杉 : 日本医事新報, 938 卷, (昭 15).
- 4) Maximow · Ber. d. D. Bot. Ges. Bd. 53, (1912).
- 5) Bernstein : Lehrbuch d. Physiologie (1910).

- Pflüg. Archiv. Bd. 92, (1902).
- 6) Jordan-Lloyds : zit. nach E. C. Smith (Proc. of the Royal Soc. Lond. Vol. 105).
- 7) Chandler (1913) : zit. nach M. Payne (Quart. Rev. of Biol. Vol. 1, 1926).
- 8) L. Hermann : Handbuch d. Physiologie (1879).

低 温 に 関 す る 研 究 (第 4 報)

凍 結 の 筋 乳 酸 含 量 に 及 ぼ す 影 響 に 就 て

岡山医科大学生理学教室 (指導 故 生沼教授)

医学士 竹 下 明 夫

[昭和 27 年 4 月 15 日受稿]

第 1 章 緒 言

一般に生活現象は生活体の温度が零度以下となり凍結状態にては殆んど停止の状態に近づく事は誰しも想像する事である。かかる場合筋肉の新陳代謝の方面から言へば最遅の化学的過程随つて最小の生活現象が行はれている。此の過程が正常のものなりや、或は又凍結及融解の如き重大なる変化によつて筋肉内の化学的過程が変化を受けるかは筋の凍結問題に於て重要な事柄である。

凍結によつて起る化学的变化に就いては、既に Kühne (1869) は凍結を受けた筋から融解後 Protein に富む液が出ると先づ報じ、次で Hermann が、近年又 T. Moran がかかる液は強い酸性を帯び之は乳酸産生の結果によるものであらうと指摘した。

又 Fletscher, Bottazzi は凍結を受けた筋に乳酸が増加する事を報じた。この量的関係については、先人の業績乏しく僅かに E. C. Smith の研究あり、Smith は蛙筋を 24 時間空気に -1.0°C より -10.0°C までの種々の

温度に凍結し融解後其乳酸含量の測定を為したる結果、 -2.5°C 附近が最大の蓄積をなして 0.7% に達したりと言ふ。而してこの温度より上又は下の場合はその蓄積量急激に低下すと、0.7% は筋肉の乳酸量としては疲労極量よりも更に大であるが、其後この成績を検討したる者を認めない。

著者は Ringer 液中にて筋を凍結して其の際如何なる成績が出づるや、且比較的短時間凍結の場合は如何なる価を出すやを実験をなし Smith の成績との比較を試みた。

第 2 章 実験材料、実験方法

実験材料 実験期間は 11 月下旬より、翌年 1 月初旬にわたる間であつて〔とのさまがへる〕(*Rana nigromaculata*) の冬眠中のものを土中より掘り出して其の腓腸筋を用ひた。

実験方法

第 1 項 筋剔出法

土中より掘り出した蛙は 1 日室内に置く。筋剔出時には可及的に反射運動を避けしめ之による乳酸量増加を防いだ。蛙の大きさは大