家畜の疲労について

辰 巳 博

(畜産試験場)

On the Fatigue of Animals

Hiroshi TATSUMI

(National Institute of Animal Industry)

疲労という現象は人間生活においては日常遭遇する経験的事実であり、もつとも普遍的な現象の一つである。しかも疲労は作業能力を減退させ、円滑な生活活動を阻害させるので、早くより生理学者の関心をひき数多くの報告がなされ枚挙にいとまがない。疲労の綜説は DURIG¹⁾ (1927) 以来しばしば発表されているが、主なるものを挙げると、HILL²⁾, SIMMONSON³⁾, DILL, BOCK, EDWARD & KENEDY⁴⁾, STEINHAUS⁵⁾, DILL⁶⁾, TAYLOR⁷⁾, SIMMONSON⁸⁾, JOHNSON⁹⁾, KARPOVICH¹⁰⁾, BARTLEY & CHUTE¹¹⁾, MOREHOUSE & MILLER¹²⁾, SCHNEIDER & KARPOVICH¹³⁾, LEHMAN¹⁴⁾, FLOYD & WELFORD¹⁵⁾, DARCUS¹⁶⁾, HEMINGWAY¹⁷⁾, NOLTIE¹⁸⁾, BROWNE¹⁹⁾, BARTLEY²⁰⁾ 等があり、またわが国では、陣岐²¹⁾, 上岡²²⁾, 古沢²³⁾, 石川²⁴⁾, 勝沼, 朝比奈²⁵⁾, 南, 石川, 勝木²⁶⁾, 学研疲労研究班²⁷⁾, 東, 杉²⁸⁾, 松岡²⁹⁾等があげられる。これらは数多くの文献を挙げて疲労の症候, 原因等について論及している。なお疲労の判定法については、学研疲労研究班³⁰⁾, 浦本³¹⁾, 桐原³²⁾等が詳述している。

しかし、家畜においてはこの問題は比較的等閑に附せられてきた。従つて、報告もきわめて少く、運動生理を対象とする研究者の間において若干の報告がなされているにすぎない^{33)~45)}。動物においては疲労は起き難いものであろうか。疲労の誘因を考えるに、SCHNEIDER & KARPOVICH は、作業の性質、体質、習慣の他に環境をあげている。高温、多湿で換気の悪い環境におかれた動物はそれだけでも疲労に陥ることが考えられる。すなわち、家畜の労働の場合を一応おくとしても、先ずあげられるのは環境による疲労である。暑さによる疲労、寒さによる疲労、また強烈な日光下の長時間にわたる暴露も疲労を起すことが考えられる。つぎに、姿勢の拘束による疲労も起りうる。すなわち、牛馬を長時間柵場内に拘束することによりかなりの疲労の起きることを観察している。さらに長時日畜舎に撃留放置した牛馬は比較的血中乳酸量は高く軽い運動をさすことにより減少すること

を観察しているが、恐らく一種の疲労を来しているのではないかと考えられる。なお乳牛の乳の搾り過ぎ、あるいは牡牛の使いすぎ等々さがしてみると家畜にも疲労を基礎として考えなければならない問題が未解決のまま残されているように思われる。しかも疲労は生産力の減退に結び付くものであり家畜の管理上等閑に付し得ないものである。

近来、家畜の飼養の対象が役畜より用畜に推移してゆくに連れ、管理方法も次第に静的などちらかと云えば植物的な取扱いをするようになってきた。しかし、健全な家畜を育成するにはそれだけで満足されるものではなく、当然動物の機能を重視した取扱いがなされなければならない。その時疲労は管理の基本問題としてたえず遭遇して考えられなければならないであろう。

しかも、これらの新しい問題の基本となる疲労は本質において運動の場合と同じと考えられるので、以下先人の業績をもとに若干の考察を加え度いとする。

疲労の考え方

動物の重要な性質として外的刺激に対して敏感に反応して行動するということがある。しかもこの刺激のくりかえしに対して適応が起り、もし適応の成立が不充分である場合には疲労という現象が生じるものである。しかし疲労は甚だ漠然とした概念であり、古来多くのすぐれた定義がなされているにもかかわらず、依然として統一されないままに使用されている。勿論人体においては、疲労は一つの経験事実であり、仕事に対する意欲の喪失、または能率の減退をもつて示される。しかし動物にあてはめた場合簡単に把握することは容易ではない。いま仮に動物を運動させ、そして普通、体温、脈拍数、呼吸数等を測る。そしてそれらの増加する程度を以て動物が疲労した程度を示そうとしている。勿論疲労はこれら体温調節、循環呼吸機能と無関係ではないが、さらに深く考察する必要がある。

HEMINGWAY¹⁷⁾ は、何時でも身体の状態は均衡な状態を作り出すところの力の作用の結果として考えられなければならない。また、この均衡な状態というのは静止的なものではなく、本質的に動的な状態であると述べている。すなわち、一般に生体は常に均衡な状態を保つために数多くの力、または種々の機能を働かしている。馬の安静状態においては、体温は 37.5°C 、脈拍数は 35 前後、呼吸数は約 10 であるが、この平衡状態は常に一定不変、不動のものではない。いま一つのストレス、すなわち労働が負荷として加えられた場合、馬はこの安静な平衡状態において労働を遂行することはできない。そこで目的を達成するためにはそれに適応したより高度の均衡状態に移らなければならない。すなわち、労働遂行には、生体はその筋、神経を合目的的に働かすために、保有するエネルギー物質を消費し、産出された老廃物を排泄しなければならない。その過程はアデニール磷酸、クレアチン磷酸、グリコーゲン等が分解され KREBS のサイクルに入り、その回復は酸素の摂取により行なわれることは衆知のことである。この酸素を組織細胞に運ぶために多くの機能が協同する。すなわち、心拍動が増加し心内圧が高まり分時拍出量が増加する。また、血球数が増加し、循環血液量が増え動脈内の酸素張力が増加する。さらに、呼吸系統については深さを増し数を増し従って容積を増加する。体温の上昇は多くの場合結果として見られる現象であるが、熱に変換された遊離エネルギーが円滑に放散されないために体内に蓄積した結果であり不利な状態であると簡単に結論するわけにもゆかない。すなわち酸化ヘモグロビンの解離を早め酸素の組織内への放出を容易にする。そして細胞内の代謝速度を高めその興奮性を増す、さらに外界との温度差を拡げて熱の放散を有利にすることも考えられる²⁸⁾。

このように考えてくれるとわれわれが通常運動時に観察する現象の多くは酸素の供給運搬に関連のある事柄のように思われる。すなわち、酸素供給を目的とする、労働に対する一つの適合 *Adjustment* であり、かくすることにより労働を遂行するに適した高度の均衡状態が達せられるのである。はじめて労働の遂行が可能となる。いま労働の結果脈拍数が増加して 50 なり 70 なりになったとする。これは 50 なり 70 なりの疲労が起きたと考えるのは早計で、その疲労を遂行するには 50 なり 70 なりの脈拍数を示す循環系の努力が必要であつたということを示すものである。しかしこの場合疲労が引続いて起るという必然性は未だ約束されていない。若し同じ身体の状態の時、異つた強度の仕事をさせた場合は当然軽い仕事に於ては脈拍の増加は少く、重い仕事の場合は多い

ことがわかる。これは仕事が生体に要求した適応の程度であり、労働の強度と考えられるものである。また、ある労働量の多い作業の前後において、別の同じ強度の仕事を行つたとして、前の仕事に対して 50 の脈拍数の増加があり、後の同じ仕事に対して 90 の脈拍数の増加を示したとするならば、当然これは長時間の労働を行つたことにより身体の状態に変化を来し、同じ仕事を遂行するために、あるいは同量の酸素を供給するためにそれだけより多くの循環機能の助力を必要とする状態を示したと考え、この時動物は疲労しているらしいと考えて良いであろう。あるいは一定の作業を継続して行くにつれ時間の経過と共に次第に脈拍数の増加が起るとしたならこの時も動物は疲労したと考えてよい。しかし、ここに更に問題が残る。若しある仕事で脈拍数の増加が大きいのに反し回復に達する時間が短く、他の仕事では脈拍数の増加が左程大きくないのに回復に達する時間が長いとした時、前者は一応負荷された仕事に対し身体が有利に合目的的に働いたがゆえに容易に作業を遂行し得たと考えざるを得ない。そこで仕事が生体に与えた後遺症状の程度が問題となり、この時疲労の問題が表面に現われてくる。もう一つ重要な問題が残されている。それは作業により身体的変化を生じ、またつぎの作業に従事した場合に変つた症状を示したとする。この時前の労働により生じた身体の変化は労働遂行上有利であるか不利であるかということであり、この点に常に注意を払う必要がある。

疲労の症状として最も特徴あるものとして血色素の増加をあげている人⁴⁶⁾もあるが、これは誤りと思われる。われわれの馬の労働遂行に関する実験では血色素は労働開始と共に次第に増加し、数分後に定常状態に達しその状態を継続する。またこの血色素の増加率は労働の強度に高い相関を示すという成績を得ている。すなわちこの場合血色素の増加は体内組織に対する酸素運搬に役立つものである。云いかえれば適応現象の一つであつて決して疲労の示標ではないのである。

HEMINGWAY¹⁷⁾ は疲労についてつぎのように考えている。疲労のきざし、ならびに症状はそれ自身を均衡の位置に維持することが出来なくなることか、または、均衡の位置を保持するためには一つあるいはそれ以上の力を余分に、しかも誇張して働かす必要を示すことにより現われる。身体の状態を本質的に動的平衡の一つとして考えるならば、筋肉内に於けるエネルギー生産に要求される物質の供給とエネルギー消費の速度との間の平衡はそれに該当する明らかな例であり、またこれは神経についても考えられる。そしてかかる需要と供給との

間の失調は作業の遂行力と仕事の出来高の減少として導かれ、これが疲労と定義されるものであると述べている。

しかし、BROWNE (Durham Univ)¹⁹⁾によれば、仕事の遂行には図の如き諸条件が関係している。そこで仕事の遂行により疲労を考える場合にはこれらの条件が一定ならばという前提を必要とする。

Performance

Environment	Mechanical Design	Hours of work	Training Selection
Psychological	Display Control	Rhythm Breaks	
Physical		Speed Load	

彼は Cranfield で開催された Symposium (1952) で興味ある説を述べている。すなわち、仕事の遂行力は連続した線の上を上昇しそして下降すると考えられる。そしてその間に普通の環境の下では適した生産高をあげる平坦な場をもっている。身体に生理的な変状や危険のあるような環境の下では作業は不能である。環境が改良されるならば遂行力は急激に上昇しすみやかに平坦に達するものである。すなわち、すべての条件、それは身体の内にもあるし、また外にもある条件、であるが、これ等に注意が払われてはじめて仕事は円滑に遂行されるものである。

仕事への熱意は段々引伸ばされるとそれは人体に変わった症状として現われ、また仕事の遂行力の上にも弱しを見せるものである。遂行力は環境に関連をもち、しかも、自然的周期性ならびに昼夜の周期的変動を示すものである。しかし、疲労と呼ばれる単一の实在があり、しかもそれが単一のテストのみで見出されなければならないとするならばそれは作り事である。人間は多くの機能を持ち、また、各々の機能は異つたテストによつてのみ検出されるものであるとこのように述べている。すなわち、彼は仕事を遂行するには色々な因子が関係するので、簡単に一つのテストで示される疲労というものは無

いと極言しているものであり、すなわち、疲労は単一の实在ではないと云っている。

暉峻²¹⁾は、労働者という人間の身心の機構は、常に「生きる」という目的のためにその全機構の能力をあげて働いているという事実があり、全機構の体制が整えられる。更に重要なことは全機構の健全な存立のための利益は、部分(個々の組織や臓器等)の利益に優先しているということで、個々の組織や臓器の変貌だけを単独に掴まえていると、えて、疲労の本態がわからなくなるのであると、述べている。

桐原²²⁾は疲労判定のための機能検査法の序言において、疲労とは、心身のある状態の体験に名づけた名称である。その限りにおいてそれは体験的現象である。故にそれは評定(evaluate)することは出来るが、測定(measure)することはできない。そうしてその場合の生体の客観的な諸現象がどう変化するかを観察乃至測定して、それによつて疲労を評定しようとする、そこに検討追求されているものは生体のそれぞれの機能あるいは物質の変化であつて、疲労とはそれから帰納される上位の概念である。しかしこの概念がどうあろうとも、生体の生活、特に労働においては労働による生体の諸現象の変化そのものが疲労の症候として重大な意義を持つものであることはいうまでもない。と言っている。

この3者により代表される意見を総合すると、疲労は高位の概念であるが故に、単一の機能、あるいは分析された症状の個々で疲労の程度を示すことは重大な過誤を来す。すなわち、分析された値は再び総合して考える必要があるということである。

また、1947年に発行された HOWARD BARTLEY 及び ELOISE CHUTE の著書¹¹⁾の中で、彼等は、疲労(Fatigue)と障害(Impairment)とを厳格に区別して考えている。障害とは組織の状態を示すものであり、疲労とは全有機体の組織化の表現としてみることの出来るものとしている。更に詳述すると彼等は次の仮定の上に立つて疲労を論述している。すなわち、1) 疲労は経験事実であり、識別しうるものである。2) 疲労は普通にみられる経験であるが、未だ充分に規定されていない。3) 全人的のものであり有機体を全一体としてみる必要がある。すなわち、有機体を細分することは正しい説明を与えない。4) 疲労は矛盾状態に起る経験的類型である、この類型には脱力感、身体不快感など、活動不適格(Inadequate)の現れとしてみられるものを包含する。5) 疲労の扱いには人体の科学に必要とし、関係するところのものをこえ、その上に位する新しい科学を必要とする。そこで、障害は組織が生体機能のより大きな面に協同することが

出来なくなるという生理的变化であり、それはただ生化学的、生理学的方法のみにより識別し得る。そして直接に経験するという事ではない。全体として生体の能力の減退が起ることは、障害が必ず生起しているということを意味するものではないと言っている。そして、障害と疲労とを区別してつぎの如く述べている。1) 疲労と障害とは同一物ではない。両者が同時に存在するとすればそれは分離できる。個体は障害されることなくして疲労し、疲労することなくして障害され得る。2) 疲労は障害を測定することでは測定できない。疲労は障害ではなく、同時に障害が労疲の徴候であるとみるのも間違いである。3) 疲労は障害と異なり直接経験する。4) 疲労は個体の活動に関する一つの状態であり、回避、消極、不適当という要素をもつ。5) 疲労は個体の恒常性の表明である。6) 疲労は個人的なものである。7) 疲労は矛盾の結果生じたものである。8) 疲労は退屈 *boredom* と混同してはならない。9) 疲労は累積する。10) 疲労の発生と回復は突然なこともある。11) 疲労は生体に固有のものである。12) 疲労はエネルギー消費とは厳密には一致しない。13) 疲労は局所的なものではない。14) 疲労は予想される原因とか機能の上に分析され規定されるべきものではない。すなわち、神経疲労とか筋疲労とか言う言葉は間違いである。

以上の如く彼等は厳密に疲労と障害とを区別している。しかも彼等は作業量では完全生体の疲労も障害も測定することは出来ない。活動力の変化は剔出した神経筋標本を使用する時のみ障害測定の用を果すものである。特定の器官は生体の中に於ては神経の支配なくしては作用し得ないが、神経支配の欠除はそれ自身障害の徴ではなくむしろ有機体の混乱の徴である。とも云っている。すなわち、彼等の立場から言えば、疲労は平衡機能の失調の結果生じたものと結論している。彼等の定義は疲労の考え方に新しい領域を拓けてはいるが、余りにも全体的であり心理学的に過ぎるに思われ、従来の疲労の観念に混乱さえ生じさせる恐れがある。BARTLEY²⁰⁾はその後、疲労と不適格 (*Inadequacy*) という論文を発表し、不適格、これは細胞や組織の活動性に対して用いる語であるが、と呼ばれる種々の現象の相互の関係を論述して、その結論として、人間としての有機体の不適格を疲労と云うと言っている。

そこで、現在普遍的な説の若干を紹介すると、上岡²¹⁾は、身体的疲労は筋力を過度に使用した場合に起るが、特に過度に使用せざる場合にも、あるいは精神労働に於ても疲労が起る。かかる疲労の機転として、疲労物質の蓄積によりその物質が脳に作用するためであるのか、

あるいは筋中のエネルギー源または細胞の中に含まれている物質が実際欠乏するためであるのか、または身体構成成分の物理化学的性状の変化するためであるのか、充分明らかにされて居ない、と述べている。

また、石川は DURIG の説と SIMMONSON の説とを代表的なものとしている。すなわち、DURIG¹⁾ は原因の立場から項目をあげている。すなわち、1) 酸素の欠乏 2) 疲労物質の蓄積 3) 原形質の物理化学状態の変化 4) 原形質の形態的变化、等を原因的条件として、これらの原因的条件が作用して生体の興奮性が低下する。あるいは停止する。興奮性が低下あるいは停止してその回復が覚束なくなった状態、それが疲労である。言葉をかえて言えば「疲労は原形質の活動の後果として細胞の興奮性ならびに細胞機能が低下することを言う。」としている。SIMMONSON²⁾ も疲労の原因として4項目をあげている。すなわち、1) 疲労物質の蓄積説、代表する物質として乳酸が考えられる。乳酸が蓄積して疲労の原因となると主張したのは、HILL, LONG 及び LUPTON であるが、その後クレアチン磷酸、アデノシン磷酸の発見があり、乳酸の発生は無くても疲労は起り、また、疲労の程度と乳酸の産生量との間には必ずしも因果関係、あるいは並行関係はないという結論になった。しかし、後述するように疲労は酸素代謝と最も関係が深いと考えた場合、乳酸は重要視されなければならない物質と考えられる。2) 活動力源の消耗説、エネルギー源の消耗のために疲労が起きるという説であり、その代表的物質として、グリコーゲンが考えられ、また、クレアチン磷酸、アデニール磷酸も問題となることは筋収縮の化学過程をみれば明瞭である。しかし如何に疲労してもこれらの物質が完全になることは考えられない。3) 体内物理化学的状态の変化、血液中のカルシウム、カリウム、ナトリウム、乳酸、磷酸等の含量が変化して、血液の滲透圧、粘性を変えると細胞の興奮性とか活動性に影響する、という説である。4) 調節機能の障害学説、消耗分解した物質の再合成機能の減退あるいは阻止は疲労現象の一であり、これに各種の酵素が関与して平衡を保つが、この調節機能の乱れによりクロナキシー等の神経機能が変化する。

また最近疲労と内分泌機能、とりわけ、副腎皮質ホルモン、アドレナリン等との関係が重視されてきた²¹⁾。外部的刺激が強大で苛烈である場合などには、生体の *Homeostatic* の自律性調節、特にその交感神経性調整には、内分泌の協同がみられるらしいということに重点が置かれている。SELYE⁴⁷⁾ のストレス学説も、外的刺激に対して脳下垂体副腎皮質系を通じて適応が行なわれる、としているが、この範ちゆうに属する説である。わ

れわれも⁸⁹⁾、副腎機能と関連ありとされている循環好酸球⁽⁴⁸⁾⁴⁹⁾が、労働中ならびに回復期に変動し、疲労時には激減することを観察した。なお、副腎皮質ホルモンが疲労の排除に効果があり、サイロキシンが疲労を促進し、アセチールヒヨリンが疲労を遅延することが知られている。俣峻²¹⁾は内分泌腺の機能は多分 *Pituitary Adrenal System* の活動に助けられての内部的環境の調整の表現としての心気の転換、すなわちいわゆる主観的疲労（自覚症状）の消退と関連するという点に特徴がみられるようであると述べている。

石川²⁴⁾は、疲労とは一方生体内に於て行なわれる力源の消耗と補給との間における平衡状態の破綻、他方不要なる代謝産物の蓄積と該物質の排出との間に於ける平衡の破綻により、あるいは両者の同時的原因に基づき発生される生体の活動性の異常状態である、と定義した。

以上、疲労に対する代表的見解を紹介して来たが、それぞれ立場によりかなりの差異が認められる。しかし、疲労の本態、あるいは原因が如何であろうとも、また未解決のまま残されようとも、そこに明瞭な一定した共通の結果がある。すなわち、機能の低下による活動性の減退ということである。われわれは馬について極端な乗馬運動の場合、疲労と共に次第に速度の減少するのを確認した⁸⁷⁾。また、トレッドミル上の牽引運動（抵抗体重の1/6.5、速度70 m/分）において、2時間の労働の結果、純効率が28%より20%に低下したのを観察した。

しかし、作業を開始して正常値より劣った出来ばえしか現わし得ない時、あるいは正常の出来ばえを保つために普通以上の努力を必要とする時、ただちに疲労したと言つて良いか否か矢張り問題がある。その前に相当量の労働、あるいは作業のくりかえし、あるいは異常環境、管理不良というようなストレスが必要である。何故なれば前述した BROWNE の説のように *Performance* には種々の因子が動き、それらが適当でない時には仲々一定最高のレベルに達せず、当然所期の目的を達成し得ないことがあるからである。

主観的な疲労の観察結果と作業の生産高との間に関連があるか否かということは、未だ議論の余地のある所であるが、FOLTZ 等⁵⁰⁾は一応無関係としている。そこで、われわれは実験を進めて行く上に疲労の確認が必要である。石川は疲労の研究上に於ては動物を如何にして疲れさすかということが重要であるといっている。換言すれば、疲労の確認である。BROWNE あるいは俣峻が指摘するように、特定の二、三の生理的項目の変化にのみ関心を集中して疲労を研究するならば、ますます疲労の実態は不明になる恐れがある。そこで、常に最も素朴な、し

かも第一義的な事柄、すなわち、作業の継続が困難になる、あるいは効率が低下するというを同時に確認しつつ他の生理的項目の変化の意義を検討しなければならない。

疲労と酸素

疲労を分類して、肉体的疲労、精神的疲労、あるいは全身疲労、局所疲労としているが、疲労は生体内のどの部位で起きるかということが、疲労を解明する上で重要なことであり、これについても数多くの報告がなされている。しかしこの問題は極めて複雑であるので、ここには予想される場所は、1)筋線維 2)運動神経終末 3)運動神経線維 4)シナプス 5)神経細胞体 6)感覚器終末 の6部位であり、随意筋の活動の範囲と力とを減ずる全身疲労のほとんどは中枢神経系で起るとされている¹²⁾¹⁶⁾、ということに止めて置こう。

運動はエネルギー物質の消耗において遂行され、その回復に酸素が利用されることは衆知のことである。しかし、その酸素は必ずしも必要量が全部運動中に供給されるとは限らない。酸素負債 (*Oxygen debt*) は A.V. HILL²⁾ により定義された語で、烈しい活動をした時に必要とした酸素の中運動中にまかないきれなかつた量で、回復中に償却されるべき量をいう。これは少なくとも乳酸の形成に関係をもち、この酸素負債と乳酸の形成とは運動の制限因子として重要である。すなわち、疲労は酸素負債の限度において起り、この時多少とも乳酸の増量が血液中に認められる。すなわち、充分な酸素の供給は筋活動を継続する上に不可欠なことである。

酸素欠乏が疲労の原因であるとの説には反対が無いわけでもない。例えば BARTLEY⁴¹⁾ は疲労と障害とを混同するものは、疲労と *Anoxia* (血液と組織に酸素を欠くところから来る状態) とを同一視するに違いないと言っている。すなわち、*Anoxia* は疲労と極めて良く類似しているが、*Anoxia* はあくまで組織の障害と考えている。

また、烈しい運動の前または間に酸素を吸入することは、その遂行力をまし、脈拍の増加を少くし、乳酸の発生を減じ、回復を早くすると報告⁶¹⁾ されている。これは、酸素の供給を増加することは、組織内における乳酸の発生を少くするためと説明されている。KARPOVICH⁵²⁾、ASMUSSEN、DOBELIN & NIELSEN 等により確認されているが、これに対し MILLER⁵³⁾ は酸素を運動の前後、ならびに運動間に吸入させて、心拍数、血圧、乳酸量、持久力ならびに感じを調べたが、酸素の吸収は何ら運動の遂行に有意の効果をもたらしなかつた。また、回復期における使用も有効であるか否か疑わしいと報告した。た

だ、乳酸については最大乳酸量が僅かではあるが有意の減少を示し、また、疲労困憊 (*Exhaustion*) に至る時間は延長したことを認めた。

しかし、疲労の定義がどのように定められようとも、多分酸素の供給不足は疲労の始まりの重要な原因の一つとして考えられるべきものである。酸素は現実には疲労を起す物質の除去に、あるいは、自律的に再生するサイクルの継続ということに対して必要欠くべからざるものである。すなわち、血液中の乳酸、炭酸ガス、磷酸の起る範囲は筋肉に与えられる酸素の豊富さに関係するからである。疲労を促進さす最も簡単な方法は酸素の供給を減退させることであり、他方切りとられた活動する筋を人工的に酸素を供給してやると疲労の発現は遅れるばかりでなく筋肉の作業力は再び増加してくる。BRONK⁵⁴⁾によると筋に荷重して伸展させると求心性のインパルスが発生するが、時間がたつとインパルスの数が減じてゆく。窒素環境ではこのへり方が甚しく、荷重を除いて休ませても、つぎに荷重してみられるインパルスの発生は十分でない。これに対し酸素環境では回復がよく行なわれ、筋知覚装置の疲労は化学的な過程であり、おそらく代謝産物の蓄積によるものと考えている。最近 KIRSTEIN⁵⁵⁾ は単一シナプスも多シナプスの反射も共に実験動物に窒素を注入することによつて、あるいは脊髄を通ずる血流を阻止することによつて生じる *Anoxia* に影響されることを示した。*Anoxia* によつて生ずる効果は疲労の効果とよく似ている。しかし、*Anoxia* 即疲労というわけにもゆかない、しかし多くの環境ではそれらは同じであり、また酸素の供給を止めることはその他の方法で起すより早く疲労の開始を促進さすことは確かである。BARCROFT⁵⁶⁾ は疲労と *Anoxia* との効果の比較を精神的症候の上に示した。それ故、神経系統の疲労の症候も多くの場合 *Anoxia* で説明出来る。

NOLTIE¹⁸⁾ は準備運動が引続いて行なわれる 所定の運動に於ける酸素摂取と酸素負債とに影響し利益があるか否かを見出すために実験を行なつた。その結果、酸素負債は各々の運動の単なる合計ではなく、所定運動において必要とするだけ多く酸素の利用を早め、また酸素負債が最大となるのを防ぐように準備運動が作用していることを認めた。この実験は、MILLER の実験が単なる酸素の供給であるのに対し、酸素運搬、利用率の増大を示したものではなからうか。

勝沼は酸素欠乏と疲労との関係を重視し、酸素不足という意味は、必ずしも酸素が吸気に不足し、または血液中に不足する意味ばかりでなく、酸化過程のどの部分に障害が有るにしても、要するに酸素の終局的作用個所で

あるところの組織細胞の酸素利用が不調を呈するということであるとしている。

われわれもまたこの見解を支持したい。乳酸の意義は HILL, LONG, LUPTON 以来かなり変遷したが^{51), 52)}、少くとも現在においては血中乳酸の増量は組織の酸素不足を示すものと考えられている¹²⁾。われわれもトレッドミル上の馬の牽引運動において、ある程度以下の労働（エネルギー代謝率 7 以下）では血中乳酸の増加が起きないのに、それ以上の労働では時間の経過と共に血液中の乳酸の増量が起き、遂に最高点約 40 mg/dl で作業不能になることを観察した。これは、呼吸循環系がその最大能力を発揮して酸素供給に努力しているにもかかわらず、組織の酸素需要量を補うことが出来ず酸素不足の状態に至り疲労困憊に達したと解釈すべきであらう。

すなわち、酸素供給の機能が組織の需要を充し得ない時そこに疲労が起きるのではなからうか。

結 言

動物の生産性の向上を企図する場合、管理の問題が重要視されるようになって来た。しかし、現在の技術の多くは経験にのみ立脚して、多くの問題が未解決のまま残されているように思える。若し家畜の機能を総合的に考えるならば、環境、放牧、搾乳、繁殖等の問題と結びついて、疲労現象は管理上の基本問題の一つである。今まで疲労の問題は主として運動、労働生理の面で取扱われ、ほとんどの研究はこれに集中されて来た。そこでそれらを基に疲労の本態及び原因について概説した。管理上の問題を考える上に多少とも参考になれば幸と思う。

文 献

- 1) DURIG, A. *Korper und Arbeit, Handb. D. Arbeitsphysiologie* (ATZLER, E.) Leipzig 1927.
- 2) HILL, A.V. *Muscular Movement in Man*. McGraw Hill Book Co., 1927.
- 3) SIMMONSON, E. *Erg. Physiol.* **37**, 299, 1935.
- 4) DILL, D.B., BOCK, A.V., EDWARD, H.T. & KENNEDY, P.H. *J. Indust. Hyg. & Toxicol.* **18**, 417, 1936.
- 5) STEINHAUS, A.V. *Physiol. Rev.*, **13**, 103, 1933.
- 6) DILL, D.B. *Ann. Rev. Physiol.*, **I**, 551, 1939.
- 7) TAYLOR, C.L. 同 上 **VII**, 599, 1945.
- 8) SIMMONSON, E. 同 上 **VI**, 548,

- 1944.
- 9) JOHNSON, R.E. 同 上 VIII, 546, 1946.
- 10) KARPOVICH, P.V. 同 上 IX, 152, 1947.
- 11) BARTLEY, S.H. & CHUTE, E. *Fatigue and Impairment in Man*. McGraw-Hill Book Co., 1947.
- 12) MOREHOUSE, L. & MILLER, A.T. *Physiology of Exercise*. The C.V. Mosby Co., 1948.
- 13) SCHNEIDER, E.C. & KARPOVICH, P.V. *Physiology of Muscular Activity*. 3rd ed. W.B. Saunders Co., 1949.
- 14) LEHMAN, G. *Praktische Arbeitsphysiologie*, Georg Thieme Verlag., 1953.
- 15) FLOYD, W.F. & WELFORD, A.T. *Symposium on Fatigue.*, H.K. Lewis & Co., 1953.
- 16) DARCUS, H.D. 同上, 59, 1953.
- 17) HEMINGWAY, A. 同上, 69, 1953.
- 18) NOLTIE, H.R. 同上, 85, 1953.
- 19) BROWNE, R.C. 同上, 137, 1953.
- 20) BARTLEY, S.H. *Physiol. Rev.*, **37**, 301, 1957.
- 21) 暉峻義等 労働科学, **27**, 1, 1951.
- 22) 上岡文雄 日本生理学評論, **1**, 356, 1941.
- 23) 古沢一夫 疲労と休養, 東洋書館, 1942.
- 24) 石川知福 日本医事新報, **1131**, 3, **1132**, 6, 1944.
- 25) 勝沼精蔵・朝比奈一男 疲労, 創元社, 1948.
- 26) 南・石川・勝木 日本の労働科学, 南山堂, 1950.
- 27) 学研疲労研究班 疲労研究の共同実験, 創元社, 1950.
- 28) 東竜太郎・杉靖三郎 生理学講座, **7**, (10), 1951.
- 29) 松岡脩吉 同上, **10**, 15, 1952.
- 30) 学研疲労研究班 疲労判定法, 創元社, 1947.
- 31) 浦本政三郎 生理学講座, **7**, 1, 1952.
- 32) 桐原傑見 疲労判定法のための機能検査法, 日本産業衛生協会出版社, 1957.
- 33) 安田純夫 中央獣医誌, **47**, 449, 1934.
- 34) 岡本正幹 動物学雑誌, **49**, 5, 1937.
- 35) 桜井信雄 日競報, **2**, 1, 1943.
- 36) 岡部利雄・三浦高義・下田与四雄 日獣誌, **12**, 262, 1950.
- 37) 辰巳 博 農技研報, **G**, **1**, 127, 1951.
- 38) 岡部利雄 最近獣医学, 朝倉書店, 1952.
- 39) 辰巳 博・上野克美 日獣誌, **14**, 473, 1952.
- 40) 松本久喜・渡辺 裕 日畜会報, **28**, 224, 1954.
- 41) 加藤正信 同上, **28**, 347, 1955.
- 42) 辰巳 博・上野克美・千葉 博・加藤道弘 農技研報, **G**, **18**, 189, 1959.
- 43) 田場典治 日獣誌, **21**, 299, 1959.
- 44) 野村晉一・富永 聡 日競報告, **7**, 73, 1960.
- 45) 競走馬保健研究所 日競報告, **7**, 1960.
- 46) 内菌耕次 新生理学(上), 医学書院.
- 47) SELYE, H. *The Physiology and Pathology of Exposure to Stress.*, Acta Inc. Medical Pub., 1950.
- 48) THORN, G.W., JENKINS, D. & LAIDLAW, J.C. *Recent Progress in Hormone Research*, **8**, 171, 208, 1953.
- 49) 田多井吉之介・長田泰公 好酸球の動力学, 医学書院, 1956.
- 50) FOLTZ, E.E., JUNG, F.J. and CISLER, L.E. *Am. J Physiol.*, **141**, 641, 1944.
- 51) HILL, A.V., LONG, C.N.H. & LUPTON, H. *Proc. Roy. Soc., London S.B.*, **96**, 438, **97**, 84, 1924.
- 52) KARPOVICH, P.V. *Research Q. Am. Assoc. Health*, **5**, 24, 1934.
- 53) MILLER, A.T. JR. *J. Appl. Physiol*, **5**, 165, 1952.
- 54) BRONK, D.W. *J. Physiol*, **67**, 270, 270, 1929.
- 55) KIRSTEIN, L. *Acta Physiol Scand*, **23**, Supp., **80**, 54, *Symp on Fatigue* (FLOYD & WELFORD) 71より1951.
- 56) BARCROFT, J. *The Brain & its Environment* 94, *Symp on Fatigue* (FLOYD & WELFOD) 71より1938.