競走馬の運動器疾患に対するレーザー照射の影響 —特に筋肉痛に対する治療効果—

山口 俊 男*

山形県くみあい畜産研修センター

Influence of Laser Irradiation on Locomotorial Disease in Race Horses.

—Particularly Therapeutic Effect on Muscle Sore.—

Toshio Yamaguchi*

Yamagata Prefecture Co-op Animal Research Center

要 約 競走馬の運動器疾患は、高率に発症しており特に筋肉痛の占める割合は高く、より効果的な治療方法が望まれている。1991年から3年間に競走馬266症例に対して、大動物用に出力を大幅に増強したGa-Al-As半導体レーザーを開発し、馬の運動器疾患、特に筋肉痛に対する効果と疼痛緩解機序について検討し、以下のような結果を得た。1) レーザー照射は運動器疾患の中で、特に筋肉痛に対して96.5%と著しく高い効果率を認めた。2) 筋肉痛に対する効果率は、レーザー出力が大きくなるほど高くいずれも95%以上であった。3) 有効あるいはやや有効と診断されるまでの平均治療回数はレーザー出力が高くなるに従って減少した。4) 筋肉痛239症例に対するレーザー照射の結果は有効例163(68.2%)、やや有効例66(27.6%)、無効例10(3.3%)で、効果率は95.8%であり、速効的に筋肉の圧痛と筋緊張の消失が特徴的に認められた。5) 出力150mW、500mWの照射時間を60秒からそれぞれ30秒、20秒に短縮した場合、筋肉痛症例に対して有効率はやや減少するものの効果率はいずれも高かった。6) レーザー照射により筋緊張は有意($p<0.01$)に減少した。7) レーザー照射によりHt値およびWBCは有意に減少し、交感神経正常化による効果が類推された。8) PGE_2 はレーザー照射直後に有意($p<0.05$)に減少し、疼痛緩解の一因であることが明らかになった。9) β -エンドルフィンにレーザー照射直後やや増加したが、有意な差は認められなかった。以上筆者が開発した大動物用Ga-Al-As半導体レーザー治療器は競走馬の筋肉痛の治療に極めて有効であり、150mW30秒あるいは500mW20秒照射で十分その効果が得られ、今後の獣医臨床におけるレーザー治療の礎となるものと考えられる。

ABSTRACT The test horses were 266 cases of race-horses which have been available for the racing at Kaminoyama Race Track, Yamagata Prefecture for 3 years from 1991 to 1993. The test horses used in the first experiment were 112 cases of race-horses which have been available for the racing in 1991. The author examined the effects of 3 kinds of laser apparatus on locomotorial diseases including muscle sore, under laser irradiating conditions of 180, 60 and 60 sec. irradiating time at 80, 150 and 500 mW outputs, respectively. Test horses used in the second experiment were 154 cases of race-horses which have been available for the racing in 1992 and 1993. The author examined both the effects of 2 kinds of laser apparatus and their pain-relief mechanism, under laser irradiating conditions of 30 and 20 sec. irradiating time at 150 and 500 mW outputs, respectively. Laser irradiation was remarkably effective (68.2%) and effective (27.6%) on 163 and 66 of 239 muscle sore cases, respectively, with an effectiveness rate being 95.8%. Irradiation times at outputs 150 and 500 mW were shortened from 60 to 30 and 20 sec., respectively. The remarkable effectiveness rates for myalgic cases were low, but effectiveness rates were high in either case. Laser irradiation led to a significant

キーワード : 競走馬、運動器疾患、筋肉痛、Ga-Al-As半導体レーザー、 PGE_2

Key Words : Race Horse, Locomotorial Disease, Muscle Sore, Ga-Al-As Semiconductor Laser, PGE_2

*Correspondence to : Funamachi 1030-1, Yamagata 990, Japan.

(〒990 山形市大字船町1030-1 Tel. 0236-22-2501)

東北家畜臨床研誌 17 (2): 76-85, 1994

($p<0.01$) decrease in the degree of myotonia. Laser irradiation led to significant decrease in Ht and WBC, suggesting a normalized sympathetic nerves induced effect. PGE_2 showed a significant ($p<0.05$) decrease immediately after irradiation. PGE_2 was shown to be significantly ($p<0.05$) decreased for normal horses compared with muscle sore horses. PGE_2 was significantly ($p<0.05$) decreased for cases of effective laser irradiation both immediately after and one hour after irradiation. β -endorphin was somewhat increased immediately after laser irradiation, but without a significant difference.

The above results suggest laser irradiation to be very effective on muscle sore of race-horses. The significant decrease in PGE_2 was shown to be correlated with the pain-relief from muscle sore.

緒 言

競走馬の運動器疾患は、地方競馬〔62〕、日本中央競馬会〔53〕とともに高率に発症しており、その中でも筋肉痛の占める割合は著しく高い傾向にある。競走馬の筋肉痛は競走能力を大きく左右する重要な疾患であり、骨折や屈腱炎など他の運動器疾患の発生誘因になる可能性が高い。このような状況の中で、筋肉痛に対する診療件数が最も多く、効果のある治療方法が望まれている。

Laserとは、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation の頭文字を組み合わせた合成語で、「放射の誘導放出による光の増幅」と言う意味である〔16〕。アメリカのMaiman (1960) は世界で最初にルビーを用いてレーザー照射に成功し〔22〕、その後He-Neレーザー、Nd-YAGレーザー、アルゴンレーザー、 CO_2 レーザー、Ga-Al-As半導体レーザーなどが次々と開発された。これらのレーザーのうち、組織の蛋白変性を引き起こさないレベルまで押さえた出力のものが低出力レーザーと言われ、疼痛緩解、消炎作用、創傷治癒促進、免疫機能賦活による治癒促進作用、血液循環の促進などが組織に対する作用として知られている〔1、2、12、13、16、22〕。

獣医医療への低出力レーザーの応用はカナダのMcKibin〔30〕による馬の慢性に腫脹膨大化した屈腱炎に対する治療に始まり、支持靱帯損傷、飛節外腫、咽頭リンパ節腫脹、浅屈腱炎、腰最長筋痛などに応用した成績〔23、28、29、31〕がみられる。

わが国の獣医医療への応用は、大動物では1985年家畜へのレーザー応用の紹介〔15〕に端を発し、1985年以降馬の運動器疾患を中心としてフレグモネや射精不能例に対する成績〔55〕、あるいは乳牛の各種疾患に対する成績〔27、36〕の報告がみられる。しかし、いずれも出力が5mWから40mWのものであり、これでは大動物治療用としては効果が期待できないと考え、出力80mW、150mW、500mWの3機種のレーザー機器を松下産業機器株式会社と共同開発した。今回、筆者はこれら3機種

のGa-Al-As半導体レーザーを競走馬の各種運動器疾患に応用しその有用性を検討し(第1実験)、ついで特に多発している筋肉痛に対しての治療効果を検討した(第2実験)。さらに、レーザー照射による疼痛緩解の機序の一端を解明する目的で、炎症や損傷部に遊離される発痛物質ブラジキニンの発痛作用を増強する物質プロスタグランジン E_2 〔21〕と、中枢性のオピオイドペプチドで内因性モルフィネ様物質である β -エンドルフィン〔9〕を測定し、その変化を検討した。

材料と方法

第1実験の目的は疼痛を示す各種の運動器疾患を対象として、その発症例数並びにそれらの疾患とレーザー照射の効果との関係をあらかじめ知るためのものである。

第2実験は第1実験の結果、筋肉痛を示す症例が極めて多く、レーザー照射の効果も他の疾患に比べ著明であったので、筋肉痛のみを対象として実施したものである。

1. 供 試 馬

レーザー照射を実施した供試馬は、1991年から1993年の3年間に山形県上山競馬場で競走に供されていたサラブレッド種220頭、アングロアラブ種46頭、計266頭の競走馬である。

第1実験での供試馬は、1991年の1年間に競走に供した馬でサラブレッド種91頭、アングロアラブ種21頭(雄74頭、雌38頭)の3歳から9歳までの運動器疾患を呈した計112頭である。

第2実験の供試馬は、1992年から1993年の2年間に競走に供して筋肉痛を呈した馬でサラブレッド種129頭、アングロアラブ種25頭(雄97頭、雌57頭)の3歳から10歳までの計154頭である。

2. レーザー治療器

使用したレーザー治療器は、大動物用、特に馬用に開発し、従来の機器より出力を大幅に増強した松下産業機器株式会社製のGa-Al-As半導体レーザー治療器PAN ARAS-1000B、波長830nmで出力80mW、150mWおよ

び500mWの3機種である。

出力80mWと150mWの機種のレーザー光は3方向から照射し、プローブの先端が焦点になり、組織内に入ってから拡散して効果域を広げるよう改良したものである。500mWの機器は、馬体の各部を容易に照射できるように本体とプローブの間を石英ファイバーを用いて接続した。この石英ファイバーは約3mの長さにし、フレキシブルに可動できるようにして馬体に照射しやすいようにした。さらに、照射スポット径を5mmとしてレーザーによる熱反応が発現しないようにした。

第1実験では、出力80mW、150mW および 500mW の3機種を、第2実験では出力150mWと500mWの2機種を用いた。

3. レーザー照射方法

筋肉痛症例の照射部位は、触診上の圧痛点を選び、他の運動器疾患症例では圧痛点のほか腫脹部位を選択した。照射部位はレーザーが患部に透過しやすいようにあらかじめ剪毛し、照射回数は1日1回、連日とした。第1実験での照射時間は一か所当たり出力80mWの機器の場合は180秒とし、出力150mWおよび出力500mWの機器の場合は60秒に設定して112症例について実施した。第2実験では筋肉痛症例に対して照射時間を短縮し、出力150mWでは30秒、500mWでは20秒の照射時間で実施した。

4. 判定方法

1) 症状の程度と効果判定基準

筋肉痛およびその他の疾患の症状の程度、あるいは効果判定の基準は表1の通りに区分した。第1実験および第2実験ともこの基準に従って実施した。さらに、有効とやや有効を合わせた百分率を効果率とした。なお、効果の有無の判定は照射24時間後に検査し、判定した。

2) 筋緊張度の判定

筋肉痛を発症している筋肉は常に緊張していることが臨床上確かめられている〔26〕。レーザー照射により筋肉痛が緩和する推移を、松下産業機器株式会社と共同開発した筋緊張度測定器を使用し、筋緊張度を数量化した。

3) 血液一般性状の検査

筋肉痛症例馬に対して、レーザー出力500mW、照射時間20秒を全身の圧痛点（平均10カ所前後）に照射し、その直前、直後、1時間後に頸静脈血をEDTA加採血管に採取しそれぞれ測定に供した。

測定項目は、ヘマトクリット値（以下Ht値とする、毛細管ヘマトクリット法）ならびに白血球数（以下WBCとする、パフィーコート定量法）の2項目である。

4) 血液生化学的検査

表1. 症状の程度と効果判定の基準

症状の程度	
筋肉痛	
3度	圧痛、筋緊張、跛行が認められるもの。
2度	圧痛、筋緊張は認められるが跛行を示さないもの。
1度	圧痛のみ認められるもの。
0度	正常なもの。
その他の疾患	
3度	圧痛、腫脹、跛行が認められるもの。
2度	圧痛、腫脹は認められるが跛行を示さないもの。
1度	圧痛のみ認められるもの。
0度	正常なもの。
効果判定基準	
有効	効：3回以内の治療で0度になるか、2度以上改善された場合。
やや有効	効：7回以内の治療で0度になるか、2度以上改善された場合。
無効	効：全く症状が改善されなかったもの。
悪化	化：症状が悪くなったもの。

筋肉痛症例馬に対して血液一般性状の検査と同じレーザー出力、照射時間、照射部位、採血時間および回数で血清を用いて血液生化学的検査を行った。検査項目は、クレアチンキナーゼ（以下CKとする）と乳酸脱水素酵素（以下LDHとする）、プロスタグランジンE₂（以下PGE₂とする）およびβ-エンドルフィンの4項目である。

第1実験

各種運動器疾患に対するレーザー照射の効果

1. 成績

1) 運動器疾患全体に対する効果

筋肉痛85症例については効果率96.5%と他の疾患に比較して著しく高い効果が認められた。屈腱炎16症例については効果率56.3%であり、発症初期の軽度の屈腱炎では高い効果が得られた。繋靱帯炎4症例については腫脹の軽減が認められた。骨疾患については、管骨骨膜炎では効果は認められなかったものの、初期の軽度な管骨痛で効果率66.7%であった。さらに、1例であるが、鶏跛について経穴に照射して効果が認められた（表2）。

2) 筋肉痛に対するレーザー出力別効果

筋肉痛に対するレーザー出力別（80mW、150mW、500mW）の効果を比較すると、有効率では出力80mWで43.8%、150mWで73.9%、500mWで90.0%と出力が大きくなるにつれて高くなる傾向にあった。しかし、効

表2. 各種運動器疾患に対する効果（例数）

	有 効	やや有効	無 効	悪 化	合 計	有効率（％）	効果率（％）
筋 肉 痛	58	24	3		85	68.2	96.5
鶏 跛	1				1	100	100
屈 腱 炎	3	6	7		16	18.8	56.3
繫 靱 帯 炎		4			4	0	100
腕 関 節 炎	1				1	100	100
管 骨 瘤	1	1	1		3	33.3	66.7
管骨骨膜炎			2		2	0	0
合 計	64	35	13	0	112	57.1	88.4

効果率：（有効＋やや有効）の百分率

果率では80mWで96.9%、150mWでは95.7%、500mWで96.7%といずれも高い効果率を示し、大きな差異は認められなかった。

さらに、有効あるいはやや有効までの平均治療回数は、筋肉痛で出力80mWでは7.0回、150mWでは3.0回、500mWでは1.8回と出力が増加するにつれて減少する傾向にあった。従って出力が大きい程少ない回数で治療効果が得られる傾向にあった。

第2実験

筋肉痛に対するレーザー照射の効果

1. 成 績

1) 筋肉痛症例に対するレーザー照射の効果

第1実験と第2実験での筋肉痛全症例に対する効果は、筋肉痛239例で有効163例（68.2%）、やや有効66例（27.6%）、無効10例（4.2%）であり効果率は95.8%と筋肉痛に対して高い治療効果が認められた。

2) 照射時間別での筋肉痛に対する効果

第1実験での出力150mWと500mWの照射時間60秒を第2実験ではそれぞれ30秒、20秒に短縮し、その効果を比較した。出力150mWでは60秒で有効率が73.9%、効果率95.7%であったが、30秒では有効率60.0%と減少したものの効果率では93.3%とほぼ同じ効果であった。出力500mWでは、60秒で有効率90.0%、効果率96.7%であり、20秒では有効率73.4%と減少したが、効果率では96.8%と同じ高い効果を示した。

3) 筋緊張度の変化

レーザー照射による筋緊張度は上腕三頭筋では、出力150mWのレーザー照射前の値は8.5mmであったが、30秒照射直後は12.5mmと有意（ $p<0.01$ ）に減少した。また、出力500mWにおいても、照射前7.7mmであったが20秒照射直後では12.5mmと有意（ $p<0.01$ ）に減少した。

一方、腰最長筋における筋緊張度は500mW照射直前で6.0mmであったが20秒照射直後では8.1mm、1時間後で8.1mmと減少し、照射前に比較して両者とも有意（ $p<0.01$ ）に減少することが認められた。

4) 血液一般性状の変化

(1) Ht値とWBCの変化

レーザー照射にともなうHt値の変化では、500mW20秒のレーザー照射直前のHt値は、 $47.6\pm4.3\%$ であったものが、直後には $43.3\pm4.0\%$ 、1時間後にはさらに $41.7\pm3.3\%$ と減少し、直前の値に比較してともに有意（ $p<0.01$ ）に減少する傾向が認められた。

さらに、500mW20秒のレーザー照射直前のWBC値は、 $11.3\pm1.8\ (\times 10^3/\mu l)$ であったが、直後には $10.1\pm1.3\ (\times 10^3/\mu l)$ と有意（ $p<0.05$ ）に減少し、1時間後には $9.2\pm0.8\ (\times 10^3/\mu l)$ と有意（ $p<0.01$ ）に減少した。

5) 血液生化学的性状の変化

CKでは、レーザー照射直前の値は $158.5\pm19.9\ (IU/L)$ 、直後には $155.5\pm22.3\ (IU/L)$ 、1時間後は $158.0\pm15.6\ (IU/L)$ とほとんど変化はなく、有意差は認められなかった。LDHでは、レーザー照射直前の値は $290.8\pm22.7\ (IU/L)$ 、直後は $290.7\pm22.2\ (IU/L)$ 、1時間後では $289.0\pm20.5\ (IU/L)$ とほとんど変化はなく、ともに有意差は認められなかった。

(2) PGE₂の変化

血中PGE₂値は全身筋肉痛を呈していた15症例に対する500mW20秒のレーザー照射直前は $5.5\pm3.0\ (pg/ml)$ であったが直後には有意（ $p<0.05$ ）に減少し、1時間後にはさらに減少する傾向を示したが、統計上有意差は認められなかった。また、筋肉痛を呈していない正常馬のPGE₂値に比較して筋肉痛馬の照射直前の値は有意（ $p<0.05$ ）に高く、直後や1時間後の値では有意差は認

められなかった (表 3)。

表 3. PGE₂ (pg/ml) の変化 (500mW、20秒)

	直 前	直 後	1 時間後
頭 数	15	15	12
筋肉痛馬 平 均	5.5	4.3※	3.8 ^{ns}
標準偏差	3.0	1.4	1.3
頭 数 9			
正 常 馬 平 均	3.4	※	ns
標準偏差	0.9		

※ : p<0.05 ns : 有意差なし

なお、この15症例を表 1 による効果判定基準に準拠して区分すると、有効 7 頭、やや有効 4、無効は 4 例であった。これら有効11例と無効 4 例のPGE₂の変化は表 4 に示す通りである。すなわち、有効例では直前の値に対して直後と 1 時間後の値ともに有意 (p<0.05) に減少することが認められたが、無効例では、直前の値に比較して直後と 1 時間後の値ともに減少の傾向は認められなかった (表 4)。

表 4. 有効例と無効例でのPGE₂ (pg/ml) の変化 (500mW、20秒)

	直 前	直 後	1 時間後
頭 数	11	11	11
有効例 平 均	6.3	4.5※	3.8※
標準偏差	3.0	1.4	1.2
頭 数	4	4	4
無効例 平 均	3.5	3.8 ^{ns}	3.7 ^{ns}
標準偏差	2.0	1.8	1.8

※ : p<0.05 ns : 有意差なし

(3) β-エンドルフィンの変化

全身筋肉痛を呈している11症例における500mW20秒レーザー照射直前の値は21.6±5.7 (pg/ml) であったが、照射直後ではやや増加し、1 時間後では直前の値に復する傾向があった。照射直前の値に比較して直後、1 時間後共に測定値には有意差は認められなかった (表 5)。

考 察

1. レーザーの特性と低出力レーザー

レーザーの生体への作用には、熱作用・電磁作用・圧作用・光化学的作用などがある。それらの作用に対する生体の反応を、光熱反応と非光熱反応とに大別して臨床

表 5. β-エンドルフィン (pg/ml) の変化 (500mW、20秒)

	直 前	直 後	1 時間後
頭 数	11	11	11
平 均	21.6	24.6 ^{ns}	21.4 ^{ns}
標準偏差	5.7	8.0	5.1

ns : 有意差なし

上に応用している〔22、40〕。非光熱反応は光作用により生体を刺激をするもので低出力レーザーとして応用されている〔7、22〕。低出力レーザーの用語はレーザー医学会でも定義が明らかになっておらず、飯島〔11〕は出力100mW以下を低出力レーザーと呼び、渥美〔2〕は低出力レーザーは波長の種類に限らず、数mW～数十mWの出力により生ずる生体効果で、非熱的な効果を表するものと定義している。しかし、剣物〔22〕は組織に対する作用を考慮して高反応レベルレーザーあるいは低反応レベルレーザーと分類し、また、猪股〔12〕は組織の蛋白凝固を引き起こさないレベルまで低く押さえた出力のレーザーを低出力レーザーと呼んでいる。

現在、わが国で市販されている低出力レーザー機器は、Ga-Al-As半導体レーザー、波長830nm、出力10～60mWやHe-Neレーザー機器、波長632.8nm、出力8.5mWに大別される〔11〕。これらは人体用として開発されたものであり、動物に対してはこれらを応用しているのが現状である。このことから動物の皮膚の厚さや体表色の多様性に適した家畜診療に応用できるレーザー機器の改良・開発が切望されていた〔17〕。筆者は、馬用のレーザー機器をGa-Al-As半導体レーザー、出力80mW、150mWおよび500mWの3機種を開発した。80mWと150mWについてはプローブの内側より3方向から照射して組織内でのレーザー光の拡散を、500mWではレーザー光のスポット径を5mmに拡大し、光熱反応を起こさないようにした。その結果、従来の低出力レーザー機器より高い出力での低反応レベルレーザーの応用が可能となった。また波長は830nmとしたが、これはヘモグロビンや水分などの動態要因に吸収されにくい最適な波長であり、レーザー光の組織への減衰が少なく、組織深達度が最も良いと言われている〔1、12、13、22〕ことによる。

2. 低出力レーザーの効果

低出力レーザーによる効果として、創傷治癒促進、消炎作用、疼痛抑制、生体活性物質の産出、血液循環の促進などが知られている〔2〕。しかし、これらの効果発

現機序については未だ十分に解明されていない。

治癒促進効果の報告として、小谷ら〔24〕はラットを用いて背部に円形の感染創を作り、He-Neレーザーを照射した実験で、創傷治癒過程に低出力レーザー照射を行うことで創傷の治癒機転が早められたと報告している。大動物については、前野〔27〕が牛伝染性角膜結膜炎にHe-Neレーザー、波長632.8nm、出力3～6mWを照射し、薬物投与群より早い治癒がみられ、尾関ら〔43〕は実験的に馬に傷創を作り、He-Neレーザーを照射して、肉芽組織の良好な発育と痂皮形成の促進をみたと報告している。

消炎・疼痛抑制効果は、低出力レーザーの最も顕著な効果と言える。そのレーザーの使用方法について、経穴に照射して刺激を与えるレーザー針法と、疼痛部や疼痛帯に照射する方法とに大別できる。レーザー針の人体への臨床応用は数少ないが、レーザー照射を一つの刺激〔47〕にとらえ、佐藤ら〔44〕はレーザー照射は針治療と同様に生体刺激法の一つと考え、渋谷ら〔46〕は脳神経外科領域での痛みレーザー針を応用している。動物では小田〔36〕、前野〔27〕らが牛の繁殖障害や乳房炎に対し経穴にレーザーを照射し良好な成績を得ている。中国においてはレーザー針を家畜に応用した基礎的研究や臨床報告が多い〔18、55〕。馬については、Klideら〔23〕の馬の腰最長筋痛に対して経穴にレーザーを照射した報告がみられる。

人の医療においては疼痛部への照射が多く、レーザーを応用したペインクリニックとして位置づけられている〔33〕。人では筋肉痛〔43〕、神経痛〔14〕、スポーツペイン〔39、40〕、肩関節炎や腰痛症〔42、49、50〕などに高い効果を示し、特にスポーツペインにおける筋肉痛などの機能的失調による痛みには著効がみられている〔11〕。馬については、山田〔55〕、尾関ら〔43〕、筆者ら〔57〕が運動器疾病の疼痛部や腫脹部に対して照射して良好な成績をあげており、特に、屈腱炎や繋靱帯炎、関節炎に対しての成績〔28、30、31、43、55、57〕がみられる。今回の第1実験でも屈腱炎に対して出力500mW照射での治療効果は高く、圧痛や腫脹の軽減が特徴的に認められた。従来、屈腱炎に対する治療方法は焼烙法が行われているが、腱の血管分布は少なく機能も低下しており、組織学的にも効果がないといわれている〔54〕。それに対して、屈腱炎に対するレーザー照射の効果としてコラーゲンの増加と線維芽細胞の活性化が認められたとMewmanら〔32〕は報告している。

筆者は、第1実験の運動器疾病に対するレーザー照射

の効果の中で、特に筋肉痛に対して著明な効果があることを示した。馬の筋肉痛に対するレーザー照射の報告は少なく、筆者ら〔58〕は競走馬に対してその効果と影響を、Bensonら〔29〕は腰最長筋痛に対して波長904nm、出力0.3mWのレーザーを用いて経穴を刺激して14頭中10頭に効果を認め、またKlideら〔23〕は腰最長筋痛に対してレーザー針（波長904nm、出力0.3mW）と針療法と水針療法とを比較した成績を報告している。しかし、今回の第2実験での成績とは効果に大きな差がみられた。これはレーザー機器の出力が小さいことと経穴に対して照射しているためと思われる。

今回の第1および第2実験では、競走馬の筋肉痛に対して出力80mW、150mW、500mWともに95%以上の高い治療効果が認められ、出力が高くなるにつれて有効ならびにやや有効と判定されるまでの治療回数や照射時間の短縮が認められた。佐藤ら〔44〕は、レーザーの出力を上げると照射時間を短縮したり、鎮痛効果を高めることができると報告しており、神経質な競走馬に対してさらに有用性が増すものと思われる。

3. レーザー照射による筋肉痛の疼痛緩解機序

猪股ら〔12、13〕はレーザー光照射による神経の疲労現象を述べている。神経組織を長時間刺激すると前シナプス終末部の神経伝達物質産生が間に合わず、枯渇してしまうためにシナプス疲労現象が生じる。レーザーを照射しても同様な現象が起こる。例えば伏在神経に照射し、その直後の Na^+/K^+ -ATPaseの活性を検索すると、レーザーの光効果作用が生体反応と調和あるいは活性化する限界の時間は15秒であり、それ以上の照射時間では生体反応が光効果作用に追従できなくなると述べている。このことから、今回の出力500mWで照射時間20秒を15秒に短縮しても同様な効果が得られるように思われた。

また、神経系への影響として、ニューロンを変性することなく神経インパルスの正常化を促進し、ニューロン内のミトコンドリアの数も正常化することが知られている〔12〕。この作用はレーザー照射による効果発現と深く関係しているものと思われる。

第2実験での上腕三頭筋と腰最長筋に対する筋緊張度の変化では有意（ $p<0.01$ ）に減少することが認められ、皮膚温も上昇する傾向を示し、臨床的にも筋緊張や圧痛の緩和が著明に認められた。さらに、レーザー照射中に患馬が鎮静化し、血液のHt値やWBCも有意に減少した。馬のHt値は、馬では脾臓に多量の赤血球を貯蔵しており、興奮や運動により赤血球を血液中に放出し上昇するが、鎮静化すると逆に減少することが知られている。

〔45〕。これらの現象は、レーザー照射の光効果が血流増加あるいは筋緊張や疼痛緩和を発現し、さらに交感神経に作用し過緊張状態を正常化〔10〕したためであろうと推察された。さらに、レーザー照射による皮膚温の上昇はサーモグラフィ〔20、37-39〕により、血流量の増加はレーザードップラー血流計〔44〕により観察されることから、皮膚温の上昇は血液循環の改善によるものと思われる〔44〕。

また、血液生化学的検査として骨格筋に臓器特異性のあるCK〔4、5〕や臓器特異性はないが筋障害時に上昇するLDH〔4、6〕は、レーザー照射直前や直後あるいは1時間後ともに正常値で推移し、レーザー照射による筋障害は認められなかった。

運動による筋肉痛は、乳酸などの代謝産物の蓄積が直接的な原因であるとは考えられず、現在は、痛みによる悪循環〔59-61〕と考えられている。筋肉が強く収縮すると血管が圧迫されて血流が阻害される。それに交感神経反射による血管収縮も加わり血流がさらに阻害されるようになる。血流が阻害されたときに収縮を続けるとブラジキニンやセロトニンなどの発痛物質が蓄積して痛みを生ずる。屈筋の反射性持続収縮と交感神経反射による血管収縮が同時に起こると筋肉自体が痛みの発生源となる。さらに、交感神経の活動が高まると節後神経が分布する末梢組織でPGE₂が産生され〔21〕、痛覚線維の感受性が高まり痛みの悪循環ができあがる。吉沢ら〔61〕は低出力レーザー照射は、神経ブロックのように交感神経を麻痺したり抑制するのではなく、痛みの悪循環理論で考えられる交感神経の過緊張を抑制し、正常に近い状態に戻して組織の乏血状態を改善すると述べている。また、河野ら〔25〕はウサギにより、レーザー照射群で痛み刺激による感覚神経の興奮性、伝導性が機能的に抑制されたと報告している。

筋肉痛の圧痛部位の痛みは、筋肉に分布する痛覚受容の過敏化によるものであり、過敏化をもたらす化学物質としてはプロスタグランジン、ロイコトリエン、ブラジキニン、セロトニン、K⁺などがある。筋組織の損傷と局所の代謝異常が原因となって発痛物質ブラジキニンは産生される〔59〕。これらの発痛物質の作用を増強する物質であるPGE₂〔21〕は、レーザー照射での有効例では照射直前の値と比べて直後と1時間後ではともに有意な減少が認められた。これは、レーザー照射によるPGE₂の産生抑制〔26〕が血流改善により発痛物質や発痛増強物質の洗い流し〔22、59〕などによるものと考えられる。しかし、人の関節リュウマチでレーザー照射により

PGE₂の産生抑制が認められた報告〔41〕があるものの、レーザー光がアラキドン酸系にどのように作用するのか解明されていないこと〔22〕から、血管拡張と血流増加による発痛物質や炎症の代謝産物の洗い流しによるものと推察された。現在わが国では大動物のレーザー照射によるPGE₂の変化についての報告はみられないが、今回、行ったレーザー照射による筋肉痛症例馬や有効例でのPGE₂の有意な減少は、疼痛緩解機序の重要な一つと考えられる。また、正常馬のPGE₂と筋肉痛症例馬のレーザー照射前のPGE₂では有意な差が認められるが、レーザー照射後では有意差は認められず、筋肉痛での痛みについてPGE₂は深く関与しているものと思われた。

また、レーザー照射による疼痛緩解機序の一つとして、内因性オピオイドペプチドであるβ-エンドルフィンの分泌が鎮痛効果に関与していると考えられている〔19、20、22、44〕。このβ-エンドルフィン、生体にストレスや刺激を与えると脳下垂体から分泌されるモルフィネ様の物質で、筋肉痛に対しては電気針〔3、9〕やもみ針〔55、56〕、針灸療法〔8、35〕などで上昇することが知られており、鎮痛発現機序の重要な物質と考えられている。しかし、レーザー照射によるβ-エンドルフィンの変化に関する報告は国内外共にみられていない。今回、筋肉痛を呈している馬にGa-Al-As半導体レーザーを照射し、β-エンドルフィンの変化をみたところ、照射直後にわずかに上昇する傾向が認められたが特に有意な変化は認められなかった。したがって、筋肉痛に対するGa-Al-As半導体レーザー照射の疼痛緩解機序にβ-エンドルフィンは直接的に関与していないと思われるが、レーザー照射による刺激作用のあったことはその値の変動からも認められた。

以上、競走馬の筋肉痛はGa-Al-As半導体レーザーの照射により高い治療効果を示し、筋緊張・筋圧痛の緩解はPGE₂の減少と併行しており、緊密な関連性のあることが明らかになった。今後、この機序をさらに追究することが必要と思われる。

謝 辞

本論文の作成に当たり、麻布大学獣医学部繁殖学講座大地隆温教授の適切なお指導を賜った。また、麻布大学獣医学部外科学第二講座 鈴木立雄教授、同大学同学部内科第三講座 松浦健二教授および元帯広畜産大学家畜外科学講座 亀谷 勉教授の適切なお助言を賜った。

本研究の実施に当たり、山形県馬主会診療所獣医主任 東野利信学士、山形県くみあい畜産研修センター所長

勝見 晟博士、ほかの所員ならびに関係各位に絶大なご尽力をいただいた。

ここに上記の諸氏に満腔の謝意を表する。

引用文献

1. 浅田完爾、猪股賢一郎(1993): 半導体レーザーの基礎: 半導体レーザー治療ハンドブック. 第1版、13-37、真興交易医書出版部、東京。
2. 渥美和彦(1992): レーザー技術による未来医学への挑戦. 日本レーザー医学会誌 13: 39-46.
3. Bossut, D.F.B., Leshin, L.S., Stromberg, M.W. & Malven, P.V. (1983): Plasma Cortisol and Beta-Endorphin in Horse Subjected to Electro-Acupuncture for Cutaneous Analgesia. Peptides 4: 501-507.
4. Cardinet III, G.H. (1983): 骨格筋の機能: 家畜臨床生化学(久保周一郎、伊沢久夫、戸尾祺明彦監訳、Kaneko, J.J.編). 第3版、603-631、近代出版、東京。
5. 藤井良和、渡辺博正、石井靖子、池田昭二(1980): 競走馬のCPKアイソエンザイムに関する検討. 馬の科学 17: 87-97.
6. 藤井良和、渡辺博正、市川文克、姉崎 亮、仁和勝広、山本 剛(1983): 馬における血清LDHアイソエンザイム分析と臨床的意義について. 馬の科学 20: 4-13.
7. 早田義博(1989): 21世紀へ向けてのレーザー医学の動向. 日本レーザー医学会誌 10: 1-4.
8. 市岡正道、佐藤公道(1989): 痛みとはなんだろう. 第1版、50-67、丸善株式会社、東京。
9. 出村 博(1985): オピオイドペプチドと臨床、オピオイドブチド(井村裕夫編). 第1版、251-267、中外医学社、東京。
10. 飯島一彦、下山直人、下山恵美、水口公信(1989): 低出力レーザーの照射部位による局所皮膚温、疼痛閾値の変化. 日本レーザー医学会誌 10: 383-384.
11. 飯島一彦、下山直人、下山恵美、水口公信(1993): 低出力レーザー. ペインクリニック 14: 29-34.
12. 猪股賢一郎、長井道雄、塚田啓子、額田いく(1991): ソフトレーザー光の生体反応. ペインクリニック 12: 759-765.
13. 猪股賢一郎(1992): 慢性疼痛とは、慢性疼痛治療へのアプローチ(村山良介・猪股賢一郎・永田勝太郎編). 第1版、150-176、医歯薬出版株式会社、東京。
14. 岩崎賢一、佐伯 茂、伊藤真介、小川節朗、鈴木太(1991): 带状疱疹後神経痛に対する低出力レーザー照射法の検討. ペインクリニック 12: 767-771.
15. 亀谷 勉、山田明夫、宮原和郎、古津ひろみ(1985): 馬におけるハリ麻酔およびハリ通電治療の現況について. 臨床獣医 3: 61-68.
16. 亀谷 勉(1990): レーザー治療の基礎知識. 獣畜新報 43: 211-214.
17. 亀谷 勉、王 立石(1990): 欧米とわが国の獣医領域におけるレーザー応用の現況. 獣畜新報 43: 215-219.
18. 亀谷 勉、王 立石(1990): 中国の獣医レーザー針療法. 獣畜新報 43: 220-223.
19. 神川喜代男、田和宗徳、香山太志(1985): 低出力レーザーによる痛みの治療. 日本レーザー医学会誌 5: 215-220.
20. 神川喜代男、田和宗徳、香山太志、一見正義、中村康孝(1986): 低出力レーザー治療とサーモグラム. 日本レーザー医学会誌 6: 47-52.
21. 鹿取 信、山本尚三、佐藤和雄(1981): プロスタグランジンの化学と生化学、プロスタグランジン、講談社サイエンティフィック編、第1版、40-167.
22. 鯉物 修、猪股賢一郎、山本剛康、神川喜代男(1992): 図説 半導体レーザーと痛みの治療、鯉物 修 編、第1版、6-49、メジカルビュー社、東京。
23. Klide, A.M. & Marin, Jr B.B. (1989): Methods of stimulating acupuncture points for treatment of chronic back pain in horses. J.A.V.M.A. 195: 1375-1379.
24. 小谷裕美、河野 透、石崎 彰、葛西眞一、水戸廸郎(1989): 創傷治療における低出力レーザーの効果. 日本レーザー医学会誌 10: 411-414.
25. 河野 透、葛西眞一、小谷裕美、水戸廸郎、斎藤孝成(1989): 低出力レーザーの鎮痛効果に関する臨床的ならびに基礎的研究. 日本レーザー医学会誌 10: 85-87.
26. Lewis, L.D. (1987): The Role of Nutrition in Musculoskeletal Development and Disease., Asams' Lameness in Horses, Stashak T.S., 4th Ed. 271-864, Lea & Febiger, Philadelphia.

27. 前野七彦 (1990) : 乳牛の卵巣静止・牛伝染性角膜結膜炎・潜在性乳房炎に対する低出力レーザー療法の効果. 獣畜新報 43: 228-235.
28. Marr, C.M., Love, S., Boyd, J.S. & McKellar, Q. (1993) : Factors affecting the clinical outcome of injuries to the superficial digital flexor tendon in National Hunt and point-to-point racehorses. Vet. Rec. 132: 476-479.
29. Martin, Jr. B.B. & Klide, A.M. (1987) : Treatment of Chronic Back Pain in Horses Stimulation of Acupuncture Points with a Low Powered Infrared Laser. Vet. Surg. 16: 106-110.
30. McKibbin, L.S. & Paraschak, D.M. (1983) : A Study of the Effects of Lasering on Chronic Bowed Tendons at Wheatley Hall Farm Limited. Lasers in Surgery and Medicine 3: 55-59.
31. McKibbin, L.S. & Paraschak, D.M. (1984) : Use of Laser Light to Treat Certain Lesions in Standardbreds. Mod. Vet. Pract. 65: 210-213.
32. Newman, C. & Jaggar, D.H. (1982) : Laser in veterinary medicine. Laser in Medicine and Surgery. 57: 38-40.
33. 西田宣子、古川幸道 (1985) : ペインクリニックにおけるレーザーの応用. 日本レーザー医学会誌 5: 243-247.
34. 大澤 進 (1993) : LD, CKの常用基準法、臨床検査 37: 512-518.
35. 小田博久 (1990) : 肩こりの鍼治療. ペインクリニック 11: 325-332.
36. 小田雄作 (1990) : 牛の運動器疾患、卵巣疾患、乳房炎等に対する応用. 獣畜新報 43: 236-238.
37. 大原 到、田口喜雄 (1989) : 疼痛緩解用半導体レーザー機器 (SKL-101) の開発. 日本レーザー医学会誌 10: 23-30.
38. 大城俊夫、岡田武史、伊藤盈爾 (1986) : 腰痛症に対するダイオード治療. 日本レーザー医学会誌 6: 391-394.
39. 大城俊夫、岡田武史、伊藤盈爾、前田隆司 (1986) : スポーツペインに対するダイオードレーザー治療第二報. 日本レーザー医学会誌 6: 383-386.
40. 大城俊夫、岡田武史、加藤好雄、前田隆司、藤原早苗、丸山 優、曾根清昭 (1985) : スポーツペインに対するダイオードレーザー治療. 日本レーザー医学会誌 5: 221-226.
41. 小山田喜敬、鹿内正憲、伊豆 悟、石月 満 (1988) : FA関節液におけるHeNeレーザーの免疫抑制効果の検討 (第1報). 日本レーザー医学会誌 8: 33-34.
42. 小幡純一、柳瀬晶弘、高橋信夫、木村明江 (1988) : 腰部変形性脊椎症に対する低出力レーザー療法の効果. 日本レーザー医学会誌 10: 395-398.
43. 尾関道春、土屋 滋、宮原良高、日高也寸志、早川聡、奥河寿臣 (1991) : 競走馬への低出力レーザー治療器の応用について. 馬の科学 28: 251-258.
44. 佐藤賢一、飢物 修、原田幸二、古御堂均、華岡由香里、大塚浩司、森本裕二、紺野繁雄 (1991) : 慢性疼痛疾患に対する低出力レーザー治療の応用. 日本レーザー医学会誌 11: 3-9.
45. SCHALM, O.W. (1980) : 血液学的所見の正常値と病気に対する反応の種属別特徴. 獣医血液学 I (其田三夫・一条 茂 監訳). 第1版、194-230. 医歯薬出版株式会社、東京.
46. 渋谷 誠、小野ルリ子、藤沢和久、片桐和広、佐野公俊、神野哲夫、大城俊夫 (1985) : 脳神経外科領域における痛みを主とした愁訴に対するレーザ針治療. 脳神経外科 13: 607-612.
47. 下山直人、下山恵美、飯島一彦、水口公彦、秋月一成 (1991) : 低出力He-Neレーザー照射の皮膚の痛点に対する影響. 日本レーザー医学会誌 12: 27-30.
48. 白戸千之、小野慶一、大城俊夫 (1985) : 半導体レーザーによる670症例の除痛効果に対する私見. 日本レーザー医学会誌 5: 227-230.
49. 白戸千之、小野慶一、大城俊夫 (1989) : 半導体レーザーによる除痛効果2700症例の治験. ペインクリニック 8: 29-34.
50. 白戸千之、小野慶一、大城俊夫 (1989) : 半導体レーザーによる除痛効果に対する私見 (第IV報). 日本レーザー医学会誌 10: 391-394.
51. Sonnenwirth, A.C. (1986) : 臨床化学、グッドウォール臨床検査学 第1巻 (玄番昭夫・荒木仁子監訳). 第1版、667-698. 医歯薬出版株式会社、東京.
52. 鈴木 太 (1980) : ハリ治療の進歩. ペインクリニック

- ク 1: 111-118.
53. 田中義朗 (1987) : 競走馬の骨折事故についての調査報告. 馬の科学 24: 43-60.
54. Webbon, P.M. (1973) : 馬の腱ストレス傷害. Equine Vet. J. 5: 58-64.
55. 山田明夫 (1990) : レーザー治療の馬への応用. 獣畜新報 43: 224-227.
56. 山口俊男、勝見 晟 (1986) : 競走馬の筋肉痛に対するいわゆる揉針療法について. 日本獣医針灸学会会報 5: 3-10.
57. 山口俊男、勝見 晟 (1992) : 競走馬の運動器疾病に対するレーザー治療の効果について. 日本獣医針灸学研究会会報 18: 2-10.
58. 山口俊男、勝見 晟 (1993) : 競走馬の筋肉痛に対するレーザー照射の影響について. 日本獣医針灸学研究会会報 19: 2-11.
59. 横田敏勝 (1990) : 炎症による痛みの生化学的基礎、痛みのメカニズム. 第1版、49-73、南江堂、東京.
60. 横田敏勝 (1993) : 非がん性疼痛のメカニズム、脳と痛みー痛みの神経生理学. 第1版、108-185、共立出版株式会社、東京.
61. 吉沢明孝、清水純一 (1992) : 低出力レーザーによる星状神経節近傍への照射効果について. 日本レーザー医学会誌 13: 3-7.
62. 全国公営競馬獣医師協会 (1992) : 年次別・病類別発症馬延頭数、平成3年地方競馬競走衛生統計資料. 20-28 全国公営競馬獣医師協会、東京.