

TightSculpting®：一种完全微创的身体轮廓解决方案；第一部分：使用PIANO®技术进行雕刻

Matjaz Lukac¹, Jernej Kukovic², Blaz Tasic Muc³, Nejc Lukac⁴, Matija Milanic⁵

¹*Institut Jozef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana, 斯洛文尼亚*

²*卢布尔雅那大学医学中心, Zaloska 2皮肤病学系, 斯洛文尼亚卢布尔雅那1000*

³*卢布尔雅那大学, 机械工程学院, Jadranska 19, 1000 Ljubljana, 斯洛文尼亚*

⁴*Fotona, doo, Stegne 7, 1000 Ljubljana, 斯洛文尼亚*

⁵*卢布尔雅那大学物理与数学系, Jadranska 19, 1000 Ljubljana, 斯洛文尼亚*

摘要

身体轮廓是通过消除或减少多余的皮肤和脂肪来改变人体形状的过程。当大多数人听到“身体轮廓”这个词时，他们会自动想到手术和抽脂。然而，随着TightSculpting®的引入及其在激光技术方面的进步，最终可以获得有效形式的非侵入性身体轮廓。通过结合两种不同的激光波长处理，只需一个激光设备，即可在单次TightSculpting®程序中实现脂肪溶解和皮肤紧致。TightSculpting®解决方案包括以PIANO®模式操作的深穿透Nd: YAG激光器，用于热脂肪细胞破坏（即“雕刻”）和在FotonaSmooth®模式下操作的表面吸收的Er: YAG激光器改善皮肤松弛，胶原蛋白重塑和收紧。TightSculpting®的FotonaSmooth®和PIANO®组件代表了一个完整的身体轮廓解决方案，根据患者的类型和治疗目标，可以在单个程序中单独使用或一致使用并使用单个激光设备。因此，组合的程序可用于治疗各种病症，包括暂时减少脂肪团的外观。

在关于TightSculpting®的两篇系列文章的第一部分中，我们描述了PIANO®激光模态的原理，并提供了TightSculpting®身体轮廓解决方案的减脂成分的治疗参数和指南。

关键词：激光雕刻，激光收紧，减脂，
PIANO雕刻，光滑收紧，紧密结合，高温激光脂肪分解

文章: *J. LA&HA, Vol. 2018年,
No. 1; onlineFirst.* 收稿日期: 2018
年5月25日; 接受于2018年9月3日。

©激光与健康学院。 版权所有。 欧洲
印刷。 www.laserandhealth.com

I. 介绍

一个理想的身体一直是世界各地许多人的长期愿望[1]。在过去的几十年中，已经开发了多种身体轮廓治疗方式以试图改变人体的形状。这些方式包括消除或减少多余皮肤（即收紧）[2-4]的程序，以及减少多余脂肪（即雕刻）的程序[5-7]。

在过去，身体轮廓几乎总是意味着访问整形外科医生。一种非常有效的微创身体塑形解决方案涉及激光辅助脂肪分解[6, 8]。然而，如今，已经引入了新的非侵入性身体轮廓技术，其在发病率和经济成本方面提供了更有利的手术替代方案。最近，激光能量向脂肪组织的经皮递送引起了人们的极大关注，因为它提供了比传统激光脂肪分解更具侵入性的替代方案[9-14]。这种超热激光脂肪分解(HTLL)程序包括通过用深穿透的1.06 μm激光外部照射皮肤来加热皮下脂肪组织。目标是将脂肪细胞加热到42–47°C范围内的高温温度一段时间，这已被发现导致程序性脂肪细胞死亡[11-13]。临床结果显示，在2, 3和6个月时，平均脂肪厚度分别减少了14%，18%和18%。通过MRI在3个月和6个月测量的平均脂肪量减少分别为24%和21%[13]。

应该注意的是，HTLL手术对身体轮廓的影响不是立即可见的。处理后大约2周开始编程的脂肪细胞死亡，大约6个月后细胞碎片的排空完全完成。另外，脂肪的减少会导致皮肤松弛，类似于显着减轻体重大后发生的情况。由于这些原因，希望将雕刻处理与皮肤紧致处理相结合，使得处理结果也在较短时间内变得可见。

最近，推出了TightSculpting®美学解决方案[15]，它通过结合两种不同的激光波长处理来实现上述要求，以实现深层脂肪减少以及更多浅表皮肤紧致，在单次手术中实现这两种效果，并且单个设备（见图1）[15-19]。



图1：TightSculpting®是一种双波长，微创身体轮廓激光治疗概念，配备Dynamis Nd: YAG / Er: YAG美学激光系统（顶部图像），用于Nd: YAG激光PIANO®雕刻和Er: YAG激光FotonaSmooth®皮肤收紧所有身体部位（下图）。

TightSculpting®的FotonaSmooth®和PIANO®组件代表了一个完整的身体轮廓解决方案，根据患者的类型和治疗的目标，可以单独使用[2-5, 20, [21]或一致[15-19]作为组合的双波长程序。

TightSculpting®解决方案涉及深度穿透Nd: YAG激光（ ），以PIANO®模式操作，用于热脂肪细胞破坏（即“雕刻”）和表面吸收的Er: YAG激光（ ）在FotonaSmooth®模式下进行胶原蛋白重塑和

收紧以改善身体轮廓效果（见图2和3）。

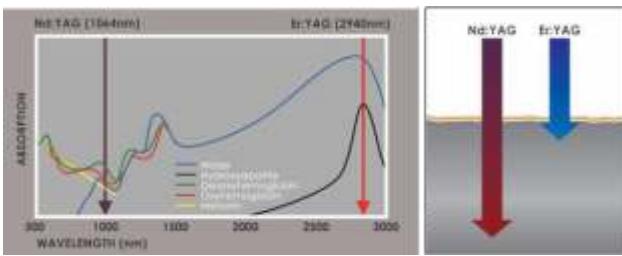


图2：左图：人体皮肤的吸收系数与激光波长的关系。右图：TightSculpting®结合了两种独特定位激光波长的效果：最均匀穿透的Nd: YAG激光波长（ $1.06 \mu\text{m}$ ），以及表面吸收最多的Er: YAG激光波长（ $2.94 \mu\text{m}$ ）。

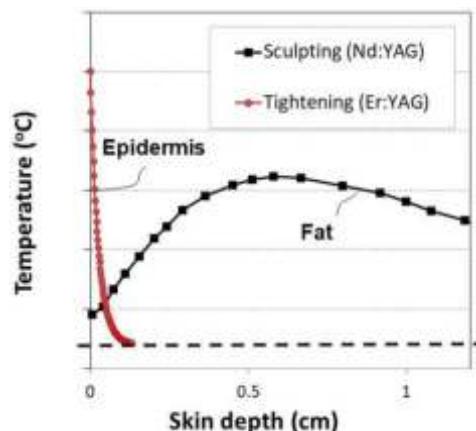


图3：双波长TightSculpting®程序结合了PIANO®Nd: YAG激光技术加热较深的皮肤层，FotonaSmooth®Er: YAG激光技术用于表皮的非烧蚀表面加热。Er: YAG激光在人体组织中的光学穿透深度极短（ $\approx 0.1 \text{ cm}$ ），而Nd: YAG激光的穿透极长（ $\approx 1 \text{ cm}$ ）。

在题为“TightSculpting®：一种完整的微创身体轮廓解决方案”[22, 23]的两篇论文系列中，我们描述了组合双波长TightSculpting®治疗概念背后的科学和方案。在本系列的第一部分（“第一部分：PIANO雕刻®技术”）中，我们专注于PIANO®激光模态，并为TightSculpting®的减脂成分提供治疗参数和指南。身体轮廓解决方案。

II. 材料和方法

PIANO®Nd: YAG激光脉冲模式专门用于深度光热分解治疗[7]。这种模式将传统的Nd: YAG脉冲持续时间范围扩展到秒

方案（0.3–60秒）并将治疗脉冲功率降低到对表皮微创的水平（见图4）。

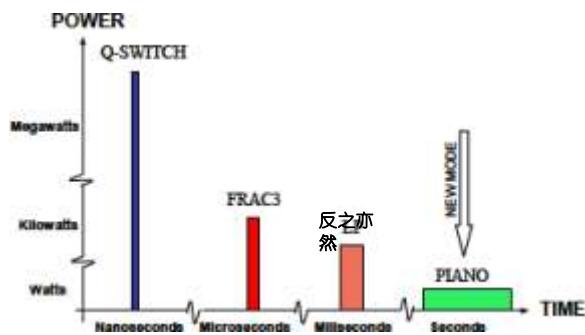


图4：“超长脉冲”PIANO®模式在秒数范围内启用脉冲持续时间，并提供高能量，脉冲功率较低，为几瓦[7]。

PIANO®模式的持续时间比表皮的热弛豫时间长得多。此功能使这种模式对于到达更深层的皮肤组织是安全的，对表皮的热效应最小。PIANO®模式脉冲持续时间也比任何其他皮肤结构（例如毛囊或血管）的弛豫时间长。因此，PIANO®模式适用于较深皮层（真皮和皮下组织）的整体均匀，大量加热，证明其名称（钢琴：象征柔软或光滑）。

PIANO®模式是为Dynamis激光系统（由Fotona doo制造）开发的，可以通过手动R33和R34手机或扫描L-Runner手机（L代表“lipo”）交付给患者。“），所有这些都配备了MatrixView皮肤温度检测系统和强制冷空气喷嘴（见图5）。



图5：L-Runner：一种先进的Nd: YAG激光扫描仪，带有MatrixView相机传感器，用于在线皮肤温度测量。

由于L-Runner扫描图案和扫描仪冷却空气喷嘴的特殊设计，可以实现均匀照射和冷却大至 $7.6 \times 8.4 \text{ cm}^2$ 的大皮肤区域（参见图6）。

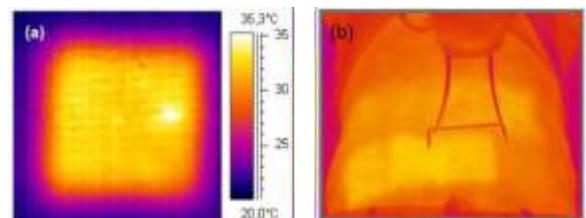


图6：受照射的皮肤区域的热像仪图像。

当使用手动（R33或R34）手持件时，手持件需要以连续的方式移动，如图7所示，以便实现对较大皮肤区域的近似均匀的加热。

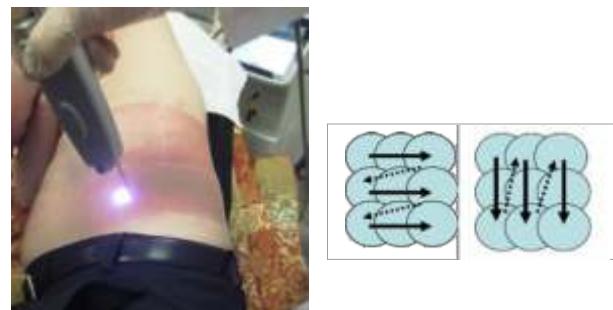


图7：R33或R34 Nd: YAG手机的手动扫描技术。

MatrixView包含一个特殊的内置微型高级热像仪，可测量扫描区域内的皮肤表面温度，并检测激光照射区域内任何位置的最高皮肤表面温度(T_s)。此皮肤温度持续显示在Dynamis激光系统界面上。此外，操作员可以在Dynamis显示屏上设置最小治疗($T_{\text{分}}$)和治疗最大($T_{\text{最大}}$)温度，MatrixView指示灯通过改变温度颜色自动通知操作员皮肤温度当皮肤表面温度超过最低治疗温度($T_s \geq T_{\text{分}}$)时，指示器从绿色变为黄色，当皮肤表面温度超过最高治疗温度($T_s \geq T$ 时，从黄色变为红色(TF97))（见图8）。这使操作者能够方便地监测皮肤温度并在 $T_{\text{分}}-T_{\text{最大}}$ 的选定温度范围内的治疗期间保持皮肤表面温度。



图8: MatrixView允许操作员在Dynamis激光系统接口上选择低电平($T_{\text{分}}$)和高电平($T_{\text{最大}}$)温度(上图); MatrixView通过将温度指示器的颜色从绿色变为黄色,或者在超过低温或高温温度阈值时将温度指示器的颜色从黄色变为红色,通知操作员处理的皮肤温度。

在高温下编程的脂肪细胞死亡用基于一级速率过程的Arrhenius动力学模型量化。组织损伤的常用指标,或在我们的情况下,细胞凋亡效率(Ω),是热暴露前天然(未损伤)组织浓度(C_0)与天然组织末端浓度的比值。曝光时间(C)。Arrhenius方程参数A和E0取决于组织类型和相关的生化过程。对于细胞凋亡,Franco等人报道了Arrhenius参数。[11], $A = 1.15 \cdot 10^{28} \text{ s}^{-1}$, $E0 = 187.54 \text{ kJ/mol}$ 。

最近,进行了两项多机构研究[9, 14],将使用PIANO®模式下操作的L-Runner扫描仪将过程中的皮肤表面温度测量与高热激光脂肪分解(HTLL)的物理模型计算相结合。这些研究的结果用于本分析,目的是为PIANO®雕刻治疗提供治疗指南。

III. 结果

a) 皮肤表面冷却的影响

脂肪细胞活力的体内检查显示,在暴露15分钟后,脂肪细胞活力在43–45°C时显著下降[11]。同样,已经表明,在42–47°C [13]的温度下暴露25分钟可以产生显著的脂肪细胞损伤。

重要的是要注意,为了获得上述皮下的高温

在没有患者不适或表皮损伤的情况下,42–47°C的范围,皮肤表面需要冷却。在没有冷却的情况下,温度最大值位于皮肤表面,从而限制组织内更深的可达到的温度升高,其在没有冷却的情况下总是低于在表面处的冷却。另一方面,通过有效冷却皮肤表面,温度最大值可以远离表皮并且更深地进入皮下组织。这在图9中得到证实,图9显示了在PIANO®模式Nd: YAG激光照射[9]期间有和没有皮肤表面冷却的测量温度深度分布。

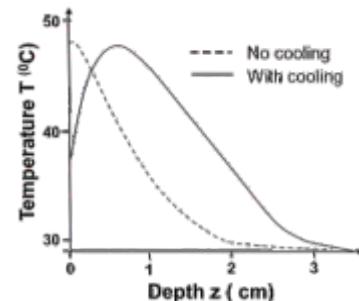


图9: PIANO®Nd: YAG激光照射后猪脂肪组织样品内的温度深度分布,显示i)没有冷却表面(虚线),和ii)对样品表面进行强制冷风冷却[3, 11]。当施加冷却时,温度最大值在组织内变为更深。

从图9中可以看出,尽管表皮温度升高到不舒服的水平,但没有表面冷却,皮下组织温度对于细胞凋亡来说太低了。通过表面冷却,表皮温度保持在40°C以下,而皮下组织温度达到细胞凋亡所需的水平。

b) 单区PIANO®雕刻协议

在PIANO®雕刻过程中,将辐射传递到皮肤表面,直到组织内更深的脂肪细胞被加热到42–47°C的温度,之后停止照射以便防止过热。由于细胞凋亡需要将脂肪细胞暴露于升高的温度下约20分钟的延长时间,当脂肪细胞的温度降至42°C以下时,重新开始照射。该循环重复多次,直至对脂肪细胞产生足够的损伤。

由于在临床过程中不可能非侵入性地直接测量皮下组织内的温度,因此使用创新方法,其中这些温度由可在手术期间测量的皮肤表面温度(T_s)确定。按此顺序,物理模型是

开发[9, 14]，已在本研究中用于开发临床方案，使从业者能够通过监测测量的皮肤表面温度进化来控制皮下组织内的温度。

我们首先考虑要处理单个L-Runner扫描区域（最多 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ）（图10）。

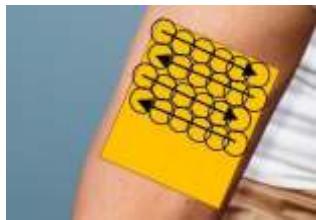


图10: PIANO®雕刻处理的单扫描区域。

基于已发表的物理模型，建议白种人患者采用以下单区PIANO®雕刻方案（黑色素体积分数mvf = 1%）：

- i) 设置MatrixView阈值温度（参见图）。
 - ii) 至 $T_{\text{最大}} = 38^\circ\text{C}$ 和 $T_{\text{分}} = 29^\circ\text{C}$ 。请注意，使用这些设置，MatrixView起始指示器的颜色将为黄色，表示起始皮肤表面温度约为 35°C ，介于 $T_{\text{最大}}$ 和 $T_{\text{分}}$ 之间。
 - iii) 将外部强制冷风冷却功率设置为 $h = 50 \text{ W / m}^2\text{K}$ （对应于使用Zimmer Cryo 6时的1级），并在整个治疗期间保持开启状态。
 - iv) 按下激光脚踏开关并开始照射扫描的皮肤区域，直到皮肤温度达到 $T_{\text{最大}}$ 并且MatrixView指示灯开始闪烁红色。
 - v) 停止激光照射（释放脚踏开关）和继续冷却皮肤区域，直到皮肤温度降至 $T_{\text{分}}$ 以下，MatrixView指示灯变为绿色。
 - vi) 按下激光脚踏开关，再次开始照射皮肤。
 - vii) 重复上述加热和冷却循环
- $N = 5-7$ 个循环（见图11）。

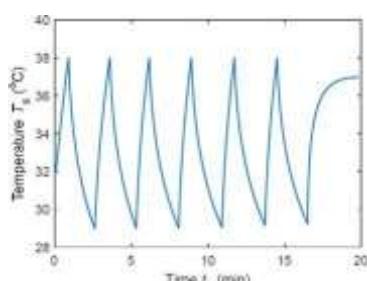


图11: 在单区域PIANO®雕刻的 $N = 6$ 个循环期间循环加热和冷却皮肤表面温度(T_s)。在治疗周期期间，皮肤表面温度在 $T_{\text{最大}} = 38^\circ\text{C}$ 和 $T_{\text{分}} = 29^\circ\text{C}$ 之间振荡。

图12a显示了在PIANO®照射停止（红色指示灯亮）和PIANO®照射再次开始（绿色指示灯亮）之后的每个循环期间的温度深度曲线。每个循环后计算的脂肪细胞损伤程度（）如图12b所示。

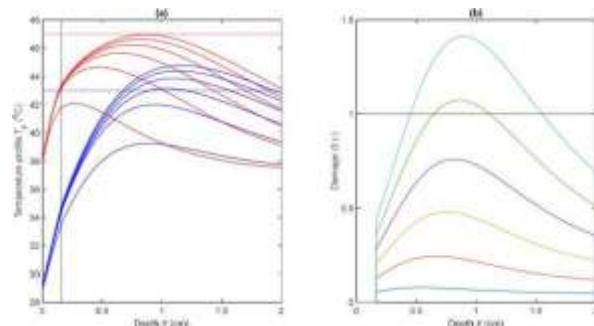


图12: (a) 在PIANO®照射停止后立即在 $N = 1-6$ 个循环期间的温度深度分布（红线）和当再次开始PIANO®照射时（蓝线）。(b) 每个循环后产生的连续凋亡功效。 $z \approx 0.5$ 和 $z \approx 1.7\text{cm}$ 之间的深度区域是 ≥ 1 的区域，因此预期最有效的细胞凋亡（减少脂肪）。

c) 循环PIANO®雕刻协议

注意，在上述单区域治疗方案期间，激光仅在约50%的时间内操作。因此，治疗持续时间长于可能需要的时间，特别是在治疗大体积区域时。为了更好地利用激光设备的输出，以及更快地处理更大的身体区域，开发了多区域“循环”PIANO®程序。在周期性PIANO®雕刻期间，待处理的较大皮肤区域被分成几个（优选四个）相等的相邻皮肤表面区段，区段的大小对应于L-Runner的扫描区域（参见图13）。

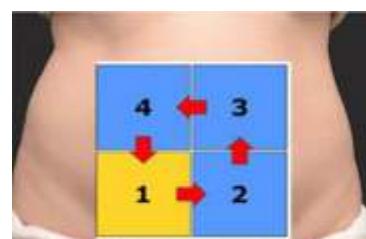


图13: 循环PIANO®照射方案。四个相邻的扫描区域皮肤区段被顺序加热 N 个连续循环。

推荐的循环PIANO®程序包括以下步骤:

- i) 设置MatrixView的更高级别温度 $T_{\text{最大}}$ （见图8）的温度值为

表1推荐，取决于患者的皮肤类型和冷风冷却功率。为方便起见，将 T_{ref} 设为 $T_{\text{最大}} - 1^{\circ}\text{C}$ 。

ii) 设置Nd: YAG激光器的PIANO®功率密度 (G) 至 $G = 1.2 \text{ W / cm}^2$ 并在整个治疗期间按下脚踏开关并保持此设置。

iii) 将外部强制冷风冷却功率设置为建议冷却功率 h_r （参见表1），并在整个治疗期间保持冷却设置。

iv) 开始照射第一段（例如，图13中的段1）。当温度接近 $T_{\text{最大}}$ 时，MatrixView指示灯将首先变为黄色，这表示温度仅比 $T_{\text{最大}}$ 低一度。

v) MatrixView指示灯启动时闪烁红色，将照射扫描区域移动到下一个区段（区段2）。

vi) 在剩余的三个段上重复与段1相同的过程。一旦以这种方式照射了所有四个区段，将扫描区域定位在循环的第一区段上方，并对所有四个区段重复照射循环。对建议的循环次数N重复执行照射循环（参见表1）。

在我们的分析中，针对不同的皮肤类型研究了PIANO®雕刻治疗功效。针对 $T_{\text{最大}}$ ， h_r 的多种组合计算温度变化和所得的预期凋亡参数。激光功率密度固定为 $G = 1.2 \text{ W / cm}^2$ 。推荐用于特定皮肤类型的方案从方案参数组合的模拟结果中选择，考虑以下标准：i) 皮肤表面温度不应超过疼痛阈值温度 43°C [24, 25]； ii) 最大皮下温度不应超过 47°C ； iii) 应超过脂肪细胞凋亡阈值 $\Omega = 1$ 。PIANO®处理每个片段（ t_{ir} ）的持续时间短于25分钟。

对于具有以下表皮mvf（黑色素体积分数）值的皮肤类型，获得的推荐的循环PIANO®雕刻方案示于表1中：mvf = 1%（苍白高加索皮肤），mvf = 2%（晒黑的高加索皮肤），mvf = 5%（亚洲皮肤）和mvf = 10%（非洲皮肤）。

表1：推荐的用于皮肤类型的循环PIANO®雕刻方案，其中mvf = 1, 2, 5和10%。冷却功率为Cryo6（由Zimmer GmbH制造）提供相应的近似冷却水平。

	Cooling power $h_r (\text{W/m}^2\text{K})$	Threshold temperature $T_s (^{\circ}\text{C})$	No. cycles N	Duration of treatment $t_{\text{ir}} (\text{min})$	Depth of apoptosis (cm)
PALE CAUCASIAN (mvf = 1%)	60 (Level 2)	37.5	5	19	0.3-1.9
	70 (Level 3)	36	5	22	0.3-2.1
	100 (Level 5)	33	4	21	0.5-2.3
TANNED CAUCASIAN (mvf = 2%)	60 (Level 2)	38	5	19	0.3-1.9
	70 (Level 3)	36.5	5	22	0.3-2.1
ASIAN (mvf = 5%)	100 (Level 5)	33	4	21	0.4-2.2
	130 (Level 9)	33	4	24	0.5-2.5
	130 (Level 9)	33	4	25	0.5-2.5
AFRICAN (mvf = 10%)	130 (Level 9)	33	4	25	0.5-2.5

为了说明，图14a显示了在每个连续PIANO®循环上平均的组织深度温度曲线，图14b描绘了在每个连续PIANO®循环后脂肪细胞损伤的最终深度曲线。该数据适用于亚洲皮肤类型（mvf = 5%），其中 $h_r = 100 \text{ W / m}^2\text{K}$ (Zimmer 5) 和 $T_{\text{最大}} = 34^{\circ}\text{C}$ ，如表1中所推荐。

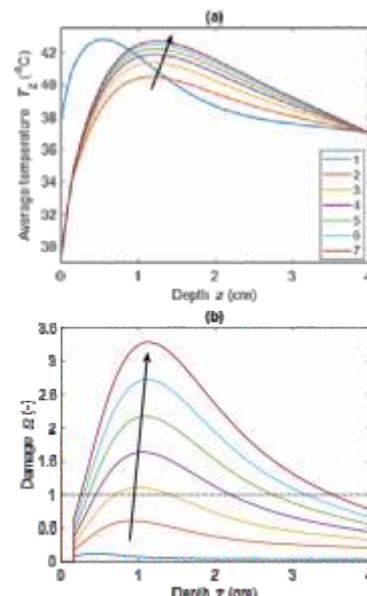


图14：(a) 在每个连续PIANO®循环 ($N = 1-7$) 上平均的温度深度分布图，和 (b) 每个PIANO®循环后的相应凋亡深度分布图。皮肤是亚洲皮肤的患者，黑色素体积分数mvf = 5%。对于该皮肤类型，处理参数取自表1：激光功率密度 $G = 1.2 \text{ W / cm}^2$ ，强制空气冷却水平 $h_r = 100 \text{ W / m}^2\text{K}$ 。(b) 中的水平虚线表示 $\Omega = 1$ ，脂肪细胞损伤阈值。箭头表示每个循环后的变化方向。

当对是否适当诊断皮肤类型或外部冷空气冷却器的冷却能力存在疑问时，可以进行以下简单测试。监测第一段的第一加热阶段的持续时间（即，第一段在第一段期间达到T_{最大}所需的时间）。该持续时间应在60-70秒的范围内。如果加热阶段明显更短，那么皮肤类型比估计的更暗或冷却能力太低。尝试增加T_{最大}或冷却功率。并且，如果加热阶段明显更长，那么皮肤类型比估计的更轻或冷却能力太高。尝试降低T_{最大}或冷却功率。在第一个周期中也观察患者的舒适度。如果患者报告显着不适，则降低T_{最大}。同样，如果患者可以处理更高的温度，则增加T_{最大}。

IV. 讨论

在下文中，我们提供了TightSculpting®程序后临床结果的实例。从示例中可以看出，可以在几乎所有身体区域上执行TightSculpting®过程（参见图15）。



图15：使用TightSculpting®治疗的最常见区域是：侧腹，背部脂肪，上腹部，下腹部，大腿（外部，内部，前部，后部），爱手柄，松饼顶部和上臂。



图16：大腿：TightSculpting前后® (3 Tx)。由Pham Huu Nghi博士提供，MD, PhD, 越南。



图17：侧翼：TightSculpting之前和之后® (1 Tx)。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图18：腹部：在TightSculpting之前，之后和之后®。由哥伦比亚的Liliana Fernandez博士提供。



图19：大腿：TightSculpting之前和之后®。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图20：腹部：TightSculpting之前和之后®。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图21：腹部：TightSculpting之前和之后®。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图25：侧翼：在TightSculpting之前和之后®(2 Tx)。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图22：手臂：TightSculpting之前和之后®。由美国Mark Taylor博士提供。



图26：侧翼：在TightSculpting之前和之后®(2 Tx)。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图23：腹部：TightSculpting之前和之后®。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图27：腹部和大腿：TightSculpting之前和之后®。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图24：TightSculpting之前和之后®。该程序与PRP一起进行。由Michelle Watson-Strickland，美国提供。



图28：臀部和大腿：TightSculpting之前和之后®。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图29: 大腿: TightSculpting前后[®] (8 Tx)。由阿根廷Adrian Gaspar博士提供。



图30: 腹部: TightSculpting之前和之后[®] (6 Tx)。由Pham Huu Nghi博士提供, MD. PhD, 越南。



图31: 腹部: TightSculpting前后[®] (4 Tx)。由匈牙利Layos Kemeny博士提供。

V. 结论

FotonaSmooth[®] 和 PIANO[®] 代表完整的 TightSculpting[®]身体轮廓解决方案, 根据患者类型和治疗目标, 可以单独使用或一起使用作为组合的双波长程序。

在组合的Er: YAG和Nd: YAG激光紧密[®]治疗期间, 表面收紧与使用热脉冲对皮肤的深度加热相结合。为了深度加热皮肤, 在超长PIANO[®]脉冲模式中使用1064nm Nd: YAG。这种秒长的脉冲状态使表皮有足够的时间

通过热扩散与真皮分享吸收的热量, 从而使表皮免于潜在的伤害。在治疗期间, 产生的热量通过皮肤传递, 增加局部血管形成和加速有机化学反应, 包括脂肪代谢, 以及导致深层连接结构(网状真皮, 视网膜皮肤, 筋膜)的收紧。

非烧蚀FotonaSmooth[®]制度中的2940 nm Er: YAG激光用于将能量传递到皮肤上以产生受控的表面组织加热而不消融, 以及随后的胶原重塑, 目的是改善皮肤厚度, 弹性和坚定。使用FotonaSmooth[®]进行表面收紧Er: YAG热脉冲用于改善区域的松弛度和表面外观。

总之, TightSculpting[®]塑身程序代表了一种舒适, 安全, 有效的非侵入性手术吸脂术。该方法也可用于暂时减少脂肪团的外观。

笔记

作者感谢斯洛文尼亚教育, 科学和体育部和欧洲区域发展基金(GOSTOP项目)的国家预算提供的财政支持。其中四位作者(ML, JK, BTM和NL)也隶属于斯洛文尼亚卢布尔雅那的Fotona doo。

Fotona Dynamis激光器和本文中描述的适应症已在欧盟销售和使用。对于需要特定国家批准或许可的国家, 本文件中描述的某些指示可能尚未清除。例如, 在美国, Fotona Dynamis激光系统的Fotona PIANO[®]和Fotona SMOOTH[®]模式已被FDA批准用于激光辅助脂肪分解和皱纹治疗, 以及用于非烧蚀性皮肤重修, 相应地。鉴于这些间隙, 术语“雕刻”应理解为表示皱纹的处理, 术语“收紧”应理解为表示非烧蚀表面重修。对于其他国家/地区, 请咨询Fotona或适用的当地国家监管机构, 了解Fotona Dynamis及其描述的适应症是否可在您所在的国家/地区进行促销和销售。

参考

1. Sarwer DB (2016) 身体形象和身体轮廓程序。 美容外科杂志, 36 (9) : 1039-1047。
2. Drnovsek Olup B, Beltram M, Pizem J (2004) Repetitive Er: YAG激光照射人体皮肤: 组织学评价。 Surg Med 35: 146-151中的激光器。
3. Gaspar A (2013) 使用口内2940 nm Er: YAG SMOOTH模式收紧面部皮肤, J LA & HA - J Laser Health Acad 2013; 2013 (2) : 17-20。
4. Lukac M, Perhavec T, Nemes K, Ahcan A (2010) VSP 中的消融和热深度Er: YAG激光皮肤表面重修。 J LA & HA, J Laser and Health academy 2010 (1) : 56-71。
5. Taylor M (2013) PIANO模式Nd: YAG激光皮肤紧致。 J LA & HA - J Laser Health Acad; 2013 (2) : B03。
6. Mordon S, Plot E (2009) 激光脂肪分解与传统脂肪切除脂肪去除。 专家Rev Med设备; 6 (6) : 677-688。 Kozarev J (2016) 激光在种族人群中的皮肤再生。 J LA & HA - J Laser Health Acad 2016 (1) : p. S08。
7. Lukac M, Vizintin Z, Pirnat S, Nemes K (2011) 使用PIANO模式在Nd: YAG激光上进行新的皮肤治疗可能性; J LA & HA - J Laser Health Acad; 2011 (1) : 22-32。
8. Lukac M, Vizintin Z, Zabar J, Pirnat S (2010) QCW Pulsed Nd: YAG 1064nm Laser Lipolysis; J LA & HA - J Laser Health Acad; 2010 (1) : 24-34。
9. Milanic M, Tasic B, Jezersek M, Lukac M. 经皮激光脂解, 1,064 nm Nd: YAG: 实验和数值评估。 Laser Surg Med 2017; 49 (4) : 417-467。
10. Schilling L, Saedi N, Weiss R. 1060 nm二极管高温激光脂解: 最新的非侵入性身体轮廓。 J Drugs Dermatol 2017; 16 (1) : 48-52。
11. Franco W, Kothare A, Ronan SJ, Grekin RC, McCalmont TH。 用新型射频装置选择性加热皮下脂肪对脂肪细胞的高温损伤: 可行性研究。 Laser Surg Med 2010; 42 (5) : 361-370。
12. Dibernardo BE, Reyes J, Chen B. 评估1064/1320-nm 激光辅助脂肪分解的组织热效应及其临床意义。 J Cosmet Laser Ther 2009; 11 (2) : 62-69。
13. Decorato JW, Chen B, Sierra R (2017) 皮下脂肪组织对使用1,060nm激光的非侵入性高温治疗的反应。 Lasers Surg Med; 23 (2) : 194-201。
14. Milanic M, Tasic B, Lukac N, Lukac M (2018) 在人类受试者中使用1,064nm Nd: YAG激光进行高热激光脂解; 已提交在Surg Med的Lasers上发表。
15. Gaspar A (2015) 结合Er: YAG和Nd: YAG激光治疗非侵入性身体轮廓。 J LA & HA - J Laser Health Acad 2015 (1) : 48-50。
16. Marini L (2011) TwinLight Rejuvenation Technique (Nd: YAG + Er: YAG) vs Er: YAG Resurfacing Alone: 比较研究。 J LA & HA - J Laser Health Acad; 2011 (1) : S01-S02。
17. Marini L (2011) 顺序光热1064 nm Nd: YAG和2940nm Er: YAG分数表面重修和重塑与2940nm单独重修: 比较组织学研究; J LA & HA - J Laser Health Acad; 2011 (1) : S03-S04
18. Bevec T, Lukac M (2011) 评论: FractionalFRAC3®和 Twinlight™激光皮肤护理; J LA & HA - J Laser Health Acad; 2011 (1) : 43-48。
19. Strickland M (2017) 治疗妊娠纹和腹部皮肤紧致J. LAHA, Vol. 2017 (1) : p. CB03。
20. Kozarev J (2016) 激光在种族人群中的皮肤再生。 J LA & HA - J Laser Health Acad 2016 (1) : p. S08。
21. Lukac M, Vizintin Z, Pirnat S, Nemes K (2011) 使用PIANO模式在Nd: YAG激光上进行新的皮肤治疗可能性; J LA & HA - J Laser Health Acad; 2011 (1) : 22-32。
22. Lukac M, Zorman A, Kukovic J, Bajd F (2018) TightSculpting®: 一个完整的微创身体

TightSculpting®: A Complete Minimally Invasive Body Contouring Solution; Part I: Sculpting with PIANO® technology

和销售。

轮廓解决方案；第二部分：采用FotonaSmooth®技术紧固；

J LA&HA – J Laser Health Acad; 2018 (1)。

23. Lukac M, Kukovic J, Tasic Muc B, Lukac N, Milanic M (2018) TightSculpting®: 一种完全微创的身体轮廓解决方案；第一部分：用PIANO®技术雕刻； J LA&HA – J Laser Health Acad; 2018 (1)。

24. Yarnitsky D, Sprecher E, Zaslansky R, Hemli JA (1995)。热疼痛阈值 - 规范数据和可重复性。疼痛1995; 60 (3) : 329-332。

25. Arendt-Nielsen L, Chen CAN (2003) 用于激活人类皮肤伤害感受器的激光和其他热刺激剂。神经生理学临床; 33 (6) : 259-268。

此激光与健康学院出版物的目的是促进医学激光界的观点，研究结果和临床经验的信息交流。本出版物的内容由作者单独承担，在任何情况下都不得被医疗设备制造商视为官方产品信息。如有疑问，请与制造商联系，确认特定产品或应用是否已获批准或在您所在的国家/地区进行销售

一种完全无创的塑形法: TightSculpting 激光治疗系统; 第二部分: FotonaSmooth 收紧技术

Matjaz Lukac¹, Anze Zorman², Franci Bajd³

¹ 斯洛文尼亚, 卢布尔雅那 1000, Jamova 39, Jozef Stefan 研究所

² 斯洛文尼亚, 卢布尔雅那 1000, Tbilisijska 59, Medilase 皮肤激光中心

³ 斯洛文尼亚, 卢布尔雅那 1000, Jadranska 19, 卢布尔雅那大学, 物理与数学学院

摘要

身体塑形通常是一种通过消除或减少多余的皮肤和脂肪来改变形体的过程。当大多数人听到“身体塑形”这个词时，他们会自然而然地想到手术和吸脂。但是，随着激光技术的进步和TightSculpting激光治疗系统的引入，一种有效的无创塑形法终于问世。一台 TightSculpting 激光治疗系统拥有两种不同波长的激光，同时实现减脂和收紧。TightSculpting 激光治疗系统的 Nd:YAG 激光 PIANO 模式具有深度穿透作用，可以利用热能破坏脂肪细胞（就是所谓“塑形”），而 Er:YAG 激光 FotonaSmooth 模式具有收紧作用，可以改善皮肤松弛，刺激胶原重塑，紧致肌肤。一台 TightSculpting 激光治疗系统具备完整的塑形程序，可以根据患者的类型和治疗目标，选择单一激光或者联合两种激光进行治疗。因此，这台治疗系统可以用于治疗多种情况，包括暂时性减少脂肪囤积。

在关于 TightSculpting 的两篇系列文章的第二部分中，我们描述了 FotonaSmooth 激光模式的原理，并提供了改善皮肤松弛、重塑胶原蛋白和收紧皮肤的治疗参数和操作指南。

关键词: 激光塑形, 激光收紧, 减脂, PIANO 塑形, Smooth 收紧, TightSculpting, 超热激光溶脂

文章: LA&HA 杂志, 第 2018 卷, 第 1 期; 电子期刊优先出刊。

收稿: 2018 年 8 月 25 日

激光与健康协会。版权所有。
于欧洲印刷。www.laserandhealth.com

I. 简介

近年来，无创塑形技术已经被广泛应用，并在医美领域迅速发展。[1, 2]。因为很多人没有准备好或者说不会考虑手术治疗，因此各种“溶脂塑形术”出现层出不穷，包括溶脂霜和按摩手法。[1]

激光溶脂一直是一种有效的，侵入性少的塑形方法，因此一直被广泛使用[3]。然而，在最近最前沿的激光技术中，一种无创的塑形技术已经出现了 [4-7]。

最新的无创塑形技术就是收紧肌肤的 FotonaSmooth Er:YAG 激光[8-10]和塑形的 PIANO Nd:YAG 激光[11-14]。这两种激光正好解决了塑形的两大问题。FotonaSmooth 对表皮和真皮进行收紧，减少皮肤松弛，改善皮肤整体结构和纹理；而 PIANO 模式通过对皮下多余脂肪进行热渗透，凋零的脂肪细胞会自然随身体排出体外。（参见图 1）

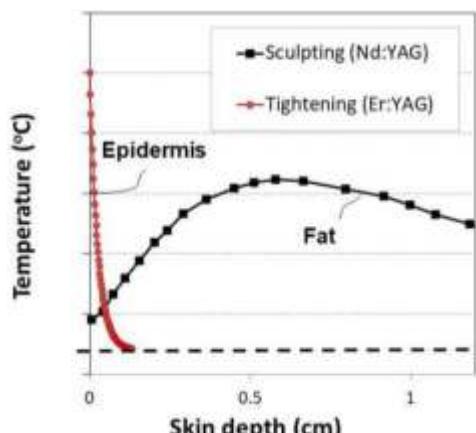


图 1. TightSculpting 双波长激光治疗系统联合了加热皮下组织的 PIANO Nd:YAG 激光技术和无创加热表皮真皮的 FotonaSmooth Er:YAG 激光技术。

FotonaSmooth 模式和 PIANO 模式完整的表现了 TightSculpting 的塑形方法，因为它可以根据患者的类型和治疗目标，选择单一激光[8-14]或者联合[15-20]两种激光进行治疗。(参见图 2)

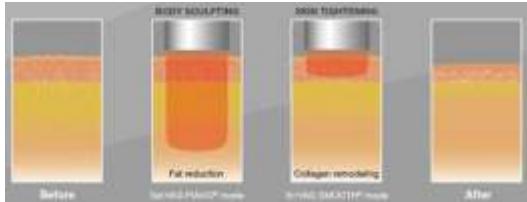


图 2. TightSculpting 是一台双波长激光治疗系统，同时具备塑形的 Nd:YAG 激光和收紧的 Er:YAG 激光。

TightSculpting 双波长激光治疗系统结合了两种独特波长：一个是最均匀穿透力的 Nd:YAG 激光波长 ($\lambda = 1.06 \mu m$)PIANO 模式，用于高温溶脂（即塑形），另一个是 Er:YAG 激光波长 ($\lambda = 2.94 \mu m$) 用于重塑胶原蛋白（即收紧）(参见图 3)。Er:YAG 激光穿透深度非常浅 ($\delta_{Er} \approx 1 \mu m$)，Nd:YAG 激光穿透深度很长 ($\delta_{Nd} \approx 1cm$)。

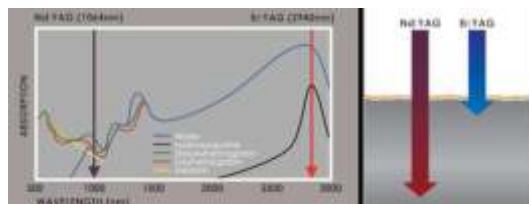


图 3：人体皮肤对激光波长的吸收系数。
TightSculpting 双波长激光治疗系统结合了两种独特波长：最均匀穿透力的 Nd:YAG 激光波长 ($1.06 \mu m$) 和收紧表皮的 Er:YAG 激光波长 ($2.94 \mu m$)。

在两篇 TightSculpting 无创塑形系列文章中 [21, 22]，我们阐述了双波长治疗的科学性与实验性。在第二部分 (FotonaSmooth 收紧技术) 我们专注于在 FotonaSmooth 激光的模式、治疗参数和操作指南，为了更好的通过胶原重塑达到塑形效果。

II. 材料与方法

a) FotonaSmooth Er:YAG 激光模式与技术

收紧作用的 Er:YAG 可以在 SP Dynamis 或者 XS Dynamis 激光治疗系统（由 Fotona d. o. o. 制造）中选择。本次治疗使用 Er:YAG 完全无创的 Smooth 模式。(参见图 4) [23-30]。

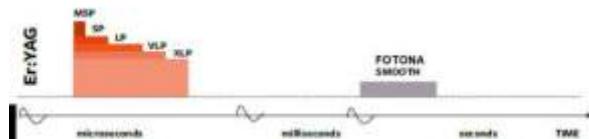


图 4：与标准的 Er:YAG 亚毫秒范围内的脉冲形态不一样 (MSP: 0.1 msec, SP: 0.3 ms, LP: 0.6 ms, VLP: 1.0 ms, XLP: 1.5 ms)，FotonaSmooth 脉冲形态约长 1000 倍 (125–625 msec)。

我们可以使用 R11 或者 R04 手具，或者配套 T-Runner 扫描手具和 T 形支撑器一起使用，选择 FotonaSmooth 模式，对治疗区域进行收紧。(参见图 5)



图 5. T-Runner 扫描手具发射出无创 FotonaSmooth 钽激光，用于收紧嫩肤。扫描区域最大可以调节为 $8*7.5cm^2$ 。

由于铒激光具有非常高的吸收率和非常浅的光穿透深度 ($\delta_{opt} = \delta_{Er} \approx 1 \mu m$)，所以通常被认为是一种剥脱性激光。然而，决定激光脉冲的热穿透深度 (δ) 的不仅仅是光穿透深度 (δ_{opt})，还有脉冲持续时间 t_{Pulse} 内的热扩散 (δ_{Pulse})， $\delta = \delta_{opt} + \delta_{Pulse}$ 。激光脉冲持续时间 t_{Pulse} 越长，热扩散 (δ_{Pulse}) 越深，热穿透深度 (δ) 越深。

独特设计的 T-Runner 扫描手具有 V-FotonaSmooth 功能（V 表示变量），可以调节 FotonaSmooth 模式持续时间 (t_{SMOOTH})：125 ms, 250 ms, 375 ms, 500 和 625 ms。而手动工具，FotonaSmooth 模式持续时间为 250 ms。

FotonaSmooth 模式具有超长脉冲持续时间可以产生独特的“双重组织重塑”作用 [31, 32]，是一种用于组织再生和紧致的高效安全的方法。FotonaSmooth 模式可以刺激胶原新生，改善弹性，收缩软组织，不仅用于皮肤科整形科 [24–27]，还用于阴道收紧 [28, 29] 的妇科和治疗打鼾，睡眠呼吸暂停 [30] 的耳喉科。

FotonaSmooth 模式专利技术，可以以一种最优次序发射出超长脉冲，在数百毫秒内发射出宏脉冲包含多个微脉冲（图 6）。

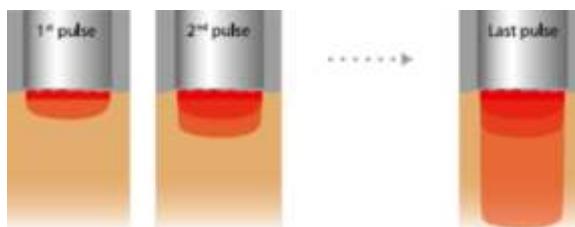


图 6：FotonaSmooth 模式是由一系列微剥脱的微脉冲组成的，能有效地将热能从皮肤表面传达组织深处。

FotonaSmooth 模式通过热扩散有效地发出序列微脉冲，这种热扩散从皮肤表面深入表皮和真皮组织。（参见图 7）[24, 29, 33–35]

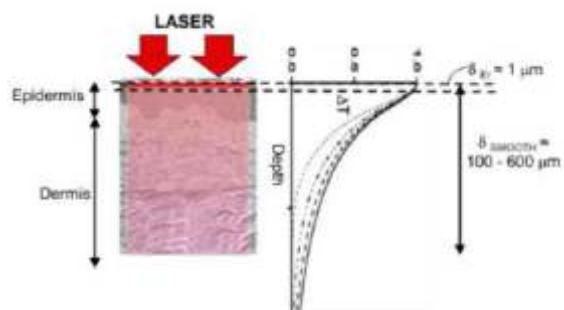


图 7：铒激光 Smooth 模式中热传导深度达到 $\delta \approx 600 \mu\text{m}$ 。决定热传导深度的不是光穿透深度，而是热穿透深度。

b) FotonaSmooth 双重组织重塑

与其他穿透更深的激光（例如 CO₂, 二极管或射频）对比，FotonaSmooth 钔激光的优势在于可以在皮肤表面（在 $\delta_{Er} \approx 1 \mu\text{m}$ 开始）在非常短的脉冲时间 (<1ms) 内产生强大的热冲击，另外深层组织也会慢慢加热 ($\delta_{SMOOTH} \approx$ 超过 $600 \mu\text{m}$)。Smooth 模式联合了两种再生机制，分别是短曝光生化过程和长曝光生化过程 [31]。这种双重组织重塑机制 (DTR) 涉及的作用机制是（参见图 8）[32]：

- i) 短曝光生化过程是对浅表表皮进行快速热冲击，随后引起深层组织再生。
- ii) 长曝光生化过程是热损伤后深层组织相对缓慢的再生；

表皮热冲击是由 FotonaSmooth 微脉冲引起的，而缓慢的热损伤作用是由系列微脉冲形成的宏脉冲引起的（参见图 9）。

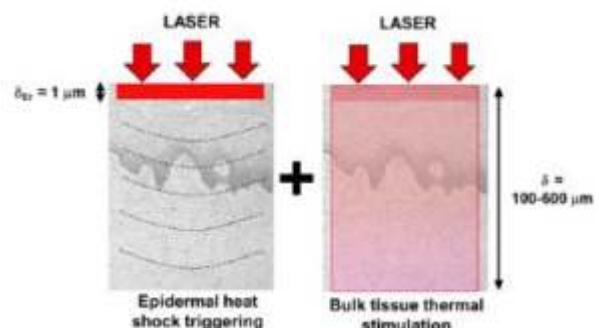


图 8. FotonaSmooth 钔激光无创换肤的双重组织重塑机制。表皮吸收了初始的短脉冲，将热扩散到深层组织。因此，在换肤中有两种互补的再生过程：i) 表皮短期热冲击引起的间接触发效应（左）；和 ii) 组织直接缓慢热损伤（右）。

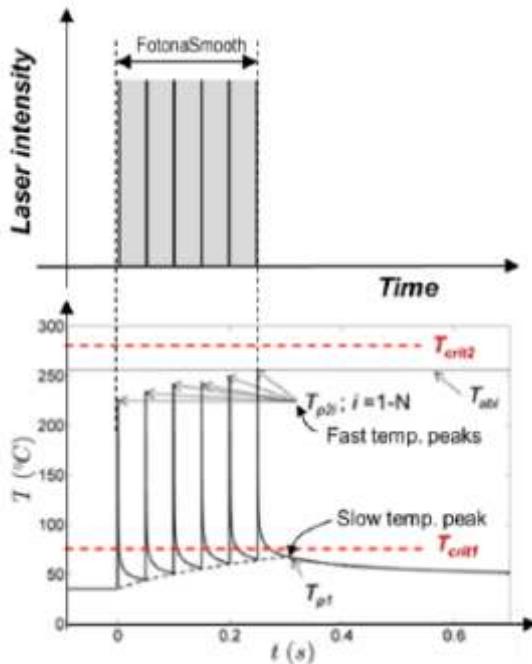


图 9: a) 一个 FotonaSmooth 宏脉冲包含 6 个微脉冲; b) Smooth 钇激光发射后随时间的温度变化。Smooth 模式是非常可能产生双重组织重塑作用的, 因为可以调整参数以达到微脉冲短曝光温度峰值 T_{p2i} 和宏脉冲长曝光温度峰值 T_{p1} , 而且低于它们各自的临界温度 T_{crit2} 和 T_{crit1} , 从而避免组织过度损伤。

FotonaSmooth 宏脉冲里的微脉冲在超短持续时间内产生热冲击, 特别有效和安全。因为持续时间非常短, 组织损伤的临界温度就比较高。这里要注意的是, 除了激光脉冲的持续时间, 激光照射后的降温过程的持续时间也会决定着一个热冲击的持续时间。正是在这样的情况下, 钇激光的穿透较浅的优势显得非常明显。换句话说, 为了加快热冲击后的降温时间, 必须在表皮形成大的温度梯度。在浅表组织, 温度梯度的振幅与光穿透深度 (δ_{opt}) 成反比。因此, 光穿透深度越浅, 热传导得越快, 降温越快。铒激光具有最高吸收性和最浅穿透深度, 这是它最大的优势, 因为它可以发射出最短的曝光时间。可以从图 10 看到这个特点, 可以看出脉冲温度在浅表的持续时间与激光(能量)穿透深度的持续时间 $t_{pulse}=100 \mu s$ [31, 32] 的关系。

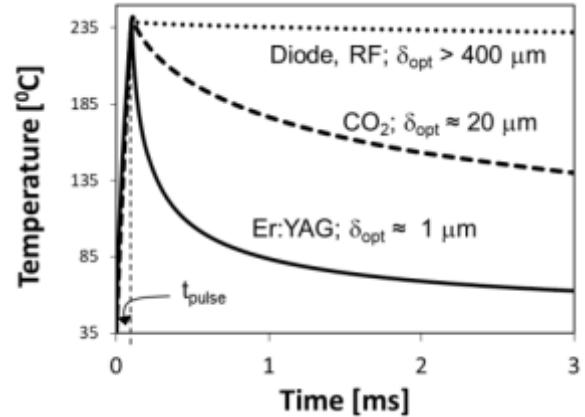


图 10: 不同的光穿透深度 δ_{opt} 形成的热冲击持续时间。 t_{pulse} 是指加热过程中脉冲持续时间。紧接着是降温过程, 降温速度取决于光穿透深度 δ_{opt} 。值得注意的是当 $\delta_{opt} > 400 \mu m$ 时, 降温需要更长时间。

c) FotonaSmooth 收紧技术物理模型

在我们的研究中, 我们为了研究中红外激光的热机械剥脱, 我们使用了一种物理过程的数值模型。

在模型中, 使用单个波长 ($\lambda = 2940 nm$) 整个脉冲能量 $F (J/cm^2)$ 发射到治疗组织。我们将组织建模为一种含税的均匀介质, 其特征是单一吸收系数, 钇激光波长 λ , $k = 1/\delta_{opt}$ 。由于我们研究的重点放在铒激光的穿透深度非常浅, 所以没有考虑到激光在组织内的散射效应。同样的, 激光光斑大小比穿透深度 (δ_{opt}) 大得多, 所以利用有限差分格式对散热扩散进行一维处理。

该模型可以计算铒激光照射组织后, 不同深度, 不同脉冲模式的情况下, 组织温度的时间演变。

根据所获得的受照射组织内温度分布的时间演变, 我们还能够计算出不同临床方案的组织深度的阿伦尼乌斯积分方程。Arrhenius 积分或组织损伤参数 (Ω) 是热诱导组织损伤的度量, 随后导致组织再生和紧缩。

组织损伤参数(Ω)代表照射前(未损伤)与经过 $T(C_T)$ 时间照射后的组织浓度的比值。我们使用的Arrhenius参数为 $A=4.76 \cdot 10^{89} \text{ s}^{-1}$, $E_0 = 5.67 \cdot 10^8 \text{ J/kmol}$ [31, 32]。在我们的分析中计算了组织再生深度(δ_{reg})如上深度所需的细胞损伤刺激再生的 $\Omega = 0.15$ 以上。

III. 材料与方法

a) Er:YAG 激光不同模式下与热穿透深度的关系

图 11 表明了不同模式下，不同能量密度，穿透深度不同。

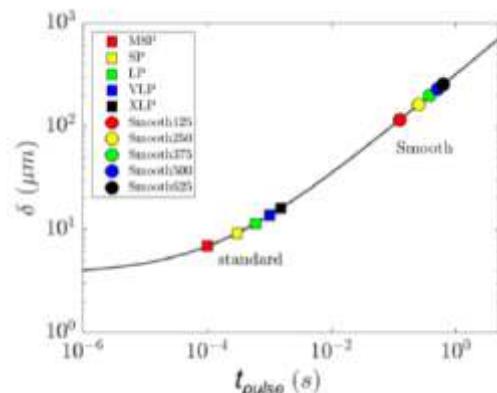


图 11：铒激光不同模式下的穿透深度(δ)。

从图 11 可以看出，Er:YAG “standard” 模式下热渗透深度的范围是从最短(MSP) $7 \mu\text{m}$ 到最长(XLP) $16 \mu\text{m}$ 。因此，标准模式更适合剥脱治疗。另一方面，FotonaSmooth®模式下热渗透深度的范围是从 $100 \mu\text{m}$ (125ms) 到 $250 \mu\text{m}$ (625ms)。

我们可以通过调节 FotonaSmooth 模式的持续时间来改变直接和间接再生过程。当我们需要深层热渗透时，是需要长曝光下缓慢的深层渗透的生化过程的。而 FotonaSmooth 模式 (652ms) 的最大优势正是如此。另一方面，当我们需要短曝光下加强热冲击的生化过程，FotonaSmooth 模式 (125ms) 就非常适合。可参见图 12，FotonaSmooth 脉冲持续时间与最大热冲击温度(升温的峰值 T_{P2I} 可参见图 9) 的关系。

Smooth 模式脉冲持续时间越短，升温峰值 T_{P2I} 越高。

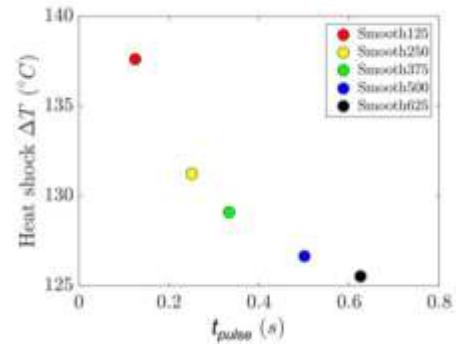


图 12：FotonaSmooth 脉冲持续时间与热冲击温度峰值 T_{P2} 的关系。 $F_{\text{SMOOTH}}=1.8 \text{ J/cm}^2$ 。请注意 Smooth 模式微脉冲序列在超短脉冲持续时间($<1\text{ms}$)内热冲击下的组织损伤临界温度(T_{damage})非常高，可达到 250°C 以上[31, 32]。

我们可以看到，在同一个区域重叠发射，是可以使得热渗透到达更深层次。可参见图 13，显示脉冲的重叠数量与渗透深度的关系。

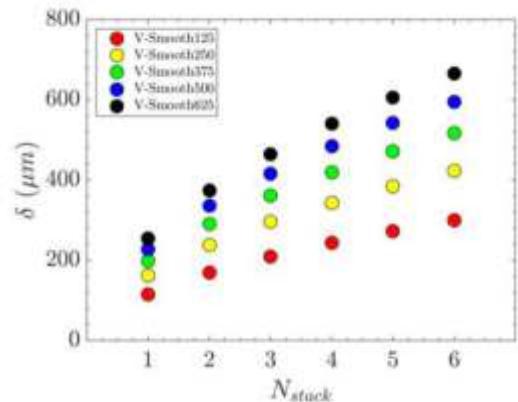


图 13：不同持续时间下，脉冲的重叠数量与渗透深度的关系。

b) STP (表皮温度参数)

需要注意的是，升温峰值 T_{P2} (见图 9) 的振幅相对患者的舒适度和安全性比较不重要。因为 Smooth 模式微脉冲序列在超短脉冲持续时间($<1\text{ms}$)内热冲击下的组织损伤临界温度非常高，可达到 250°C 以上[31, 32]。因此，当组织温度达

到剥脱阈值温度时，组织剥脱的开始使温度保持在这个极限，从而防止温度达到组织损伤的临界水平。这种机理类似于沸水，不管加热功率多大，沸水的温度都保持在 100° C。

另一方面，长曝光峰值温度 T_{pl} （定义为 FotonaSmooth®序列脉冲后 20 ms 的表皮温度 t ）的振幅是对患者舒适和安全至关重要。这是因为 ≈ 0.2 s 长时间温度曝光 T_{pl} （见图 9），组织损伤的温度阈值是在 $T_{damage} \approx 75 - 100^{\circ} C$ 。

对于长时间（几秒钟）高温下曝光，不同身体部位的热痛阈 (T_{pain}) 是在 $T_{pain} = 41-45^{\circ} C$ 范围内 [37, 38]。曝光越短，热痛阈越高： ≈ 0.2 s, $T_{pain} \approx 55^{\circ} C$ 和 ≈ 0.05 s, $T_{pain} \approx 70^{\circ} C$ [39, 40]。

为了确定 Smooth 治疗时的热痛阈值，我们记录了 17 名患者在治疗腹部时没有麻醉下用不同参数做的数据。因为热痛阈值是一个复杂的温度的函数深度分布，我们引入了一个表皮温度参数 (STP)，相关报告的热痛阈值与 T_{pl} 治疗参数计算出相同的治疗参数，STP 是成正比的增加 T_{pl} ($STP \propto (T_{pl} - 35^{\circ} C)$)。

选择比例因子，使 STP 的疼痛阈值在没有局部麻醉的情况下达到 100% 左右。结果如图 14 所示。

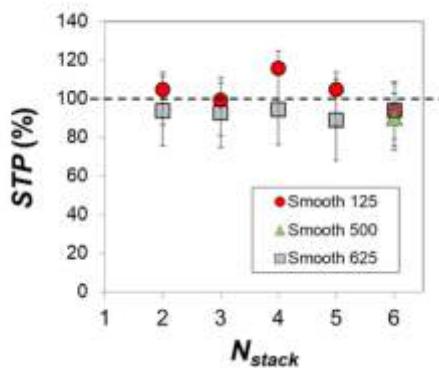


图 14：不同参数下，测量 STP（表皮温度参数）。注意对应每一组重叠，累积能量密度都被分别调整到通阈值。

请注意，根据不同患者的疼痛阈值，这些值可

能会在 10%-15% 左右。

如预期，局部麻醉可以提高病人对疼痛的耐受性。我们对 17 例使用和未使用 EMLA 的患者进行了对比试验，结果显示使用 EMLA 乳膏时 STP 疼痛阈值增加了 30% 以上。

c) FotonaSmooth T-Runner 的治疗方案

在我们的分析中，从组合方案中选择收紧方案，要考虑以下条件：(i) STP(表皮温度参数) 低于或等于 100%；ii) 在条件 1 下深度收紧治疗组织再生深度最大，和 ii) 做表皮皮肤松弛治疗时，为了产生最大热冲击，需要最低的能量密度。参考的治疗方案见下表 1

表 1：FotonaSmooth T-Runner 的基本治疗方案

FotonaSmooth duration (ms)	N_{stack}	Cumulative Fluence (J/cm ²)	STP (%)	δ (μm)	δ_{reg} (μm)
Deep tightening	625	6	4.8-6.0	78-100	680-91
Superficial laxity	125	1	0.7-1.3	47-94	105-12-45

建议操作者根据患者的皮肤类型和对不适感的敏感性来选择参数，表 1 所示参数仅作为基本准则。对于所选处理参数的任意组合，系统计算并显示相应的剥脱深度、再生深度 (δ_{reg}) 和表皮温度参数 (STP)（见图 15）



图 15：FotonaSmooth T-Runner 使用界面。对于所选处理参数的任意组合，系统计算并显示相应的剥脱深度、再生深度 (δ_{reg}) 和表皮温度参数 (STP)。

注意，STP 越高，再生深度越深(见图 16)。当需要更大的再生深度时，可以使用局部麻醉将疼痛阈值提高到大约 $STP = 125\%$ 。当超过 STP 阈值 100% 时，首先进行小治疗区/点。

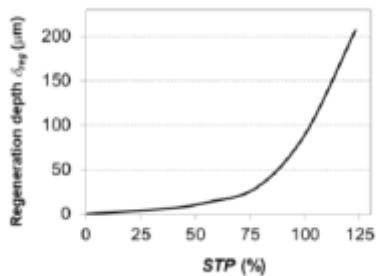


图 16：脉冲持续时间为 625ms, $N_{stack}=6$ 时，再生深度与表皮温度参数 (STP) 的关系。

IV. 讨论

下面我们提供了一些 TightSculpting 的临床案例。从案例可以看出，TightSculpting 几乎可以应用于身体的所有部位。(见图 17)



图 17：常见治疗区域有：侧面、背部赘肉、上腹部、下腹部、大腿（外、内、前、后）、腰部赘肉和上臂。



图 18：TightSculpting 术前术后对比图。腰(-6 厘米), 脐(-8 厘米), 臀(-7 厘米), 腹(-14 毫米)。感谢越南 Pham Huu Nghi 医生提供。



图 19：侧腰：TightSculpting 术前术后对比图。感谢阿根廷 Adrian Gaspar 医生提供。



图 20：腹部：TightSculpting 术前术后对比图(5 次治疗)。感谢加拿大 Anil Sharma 医生提供。



图 21：腹部：TightSculpting 术前术后对比图(8 次治疗)。感谢阿根廷 Adrian Gaspar 医生提供。

一种完全无创的塑形法：TightSculpting 激光治疗系统；第二部分：FotonaSmooth 收紧技术



图 22：侧腰：TightSculpting 术前术后 3 个月对比图（2 次治疗）。感谢阿根廷 Adrian Gaspar 医生提供。



图 23：TightSculpting 术前术后对比图。感谢土耳其 Hakan Yurteri 医生提供。



图 24：腹部：TightSculpting 术前、术后立即、术后对比照。感谢哥伦比亚 Liliana Fernandez 医生提供。



图 25：侧腰：TightSculpting 术前和术后立即对比图（1 次治疗）。感谢阿根廷 Adrian Gaspar 医生提供。



图 26：腹部：TightSculpting 术前、术后立即、术后对比照。感谢哥伦比亚 Liliana Fernandez 医生提供。



图 27：体重：TightSculpting 术前术后对比图。感谢越南 Pham Huu Nghi 医生提供。



图 28：侧腰：TightSculpting 术前术后对比图（1 次治疗）。感谢阿根廷 Adrian Gaspar 医生提供。



图 29：腹部：TightSculpting 术前术后对比图。感谢阿根廷 Adrian Gaspar 医生提供。



图 30：腹部：TightSculpting 术前术后 6 周对比图（1 次治疗）。感谢 Tamara Meissnitzer 医生提供。



图 31：腹部：TightSculpting 术前术后对比图（4 次治疗）。感谢匈牙利 Layos Kemeny 医生提供。

V. 结论

结合Er:YAG和Nd:YAG用于塑形的激光治疗平台是一种舒适、安全、有效的皮肤紧致和减脂的治疗方法。再结合健康的生活方式，它会成为一种非常有前途的非侵入性激光减脂的选择。

虽然激光溶脂一直被描述为一个“午餐时间治疗”，但它仍然是归类为外科手术。但是由于它没有手术切口的风险和麻醉剂的使用，也能达到减脂的效果，所以得此称号。TightSculpting 代表了一种安全有效的替代解决可以减除多余的脂肪和收紧皮肤。同事也可以用来暂时减脂。

注意

作者感谢斯洛文尼亚教育、科学和体育部国家预算和欧洲区域发展基金(GOSTOP项目)的财政支持。作者也隶属于 Fotona d.o.o.，斯洛文尼亞卢布尔雅那。

Fotona Dynamis 激光治疗仪和本文描述的适应症已获准在欧盟销售和使用。对于需要得到具体国家批准或许可的国家，本文所述的一些迹象可能尚未得到澄清。例如，在美国 Fotona PIANO 模式和 Fotona SMOOTH 模式已通过 FDA 认证，包括减脂作用和治疗皱纹，非剥脱嫩肤收紧等。鉴于这些间隙，“sculpting”一词应理解为皱纹的处理，而“tightening”一词应理解为非剥脱收紧嫩肤。对于其他国家，请与 Fotona 或适用的地方国家监管机构联系，了解 Fotona Dynamis 及其描述的指示是否可用于在贵国促销和销售。

参考文献

1. Sarwer DB(2016)身体图像和纤体塑形程序。美容外科杂志, 36(9):1039–1047。
2. Mordon S, Plot E(2009)激光脂肪分解与传统方法减脂的对比。专家 Rev Med 设备;6(6):677–688.
3. Kozarev J(2016)基于少数民族皮肤年轻化研究。J 激光健康学报 2016(1):p. S08。
4. Schilling L, Saedi N, Weiss R. 1060nm 二极管高温激光减脂术:非侵入性人体塑形的最新进展。J 药物皮肤病 2017;16(1):52。
5. Franco W, Kothare A, Ronan SJ, Grekin RC, McCalmont TH. 一种新型射频装置选择性加热皮下脂肪对脂肪细胞的热损伤:可行性研究。2010 年激光外科医学;42(5):361 – 370。
6. Dibernardo BE, Reyes J, Chen B. 1064/1320 nm 激光辅助脂肪分解的组织热效应评价及其临床意义。J Cosmet 激光 Ther 2009;11(2):62 – 69。
7. decato JW, Chen B, Sierra R(2017)皮下脂肪组织对非侵入性热疗 1060 nm 激光的响应。地中海激光杂志;23(2):194 – 201。
8. Drnovsek Olup B, Beltram M, Pizem J (2004) 重复 Er:YAG 激光照射人体皮肤:组织学评价。激光外科医学 35:146–151。
9. Gaspar A(2013) 使用口腔内 2940nm 收紧面部皮肤 Er:YAG 模式, J LA&HA – J 激光健康协会 2013;2013(2):17 – 20。
10. Lukac M, vec T, Nemes K, Ahcan A (2010) VSP Er:YAG 激光嫩肤中的剥脱与热深度。激光与健康协会 2010(1):56–71。
11. Taylor M(2013)PIANO 模式 Nd:YAG 激光紧肤。J 激光健康协会;2013(2):B03。
12. Lukac M, Vizintin Z, Pirnat S, Nemes K (2011) Nd:YAG 激光 PIANO 模式皮肤治疗的新可能性;J 激光健康协会;2011 (1):22–32。
13. Milanic M, Tasic B, Jezersek M, Lukac M. 经皮激光脂肪分解 1064 nm Nd:YAG:实验和数值评价。2017 激光手术医学;49 (4):417 – 467。
14. Milanic M, Tasic B, Lukac N, Lukac M (2018) 1064 nm Nd:YAG 激光超热激光脂解人体研究提交发表在外科医学激光。
15. Gaspar A(2015)联合 Er:YAG 和 Nd:YAG 激光治疗无创人体塑形。J 激光健康学报 2015(1):48–50。
16. Marini L (2011) TwinLight 年轻化技术(Nd:YAG+Er:YAG)与 Er:YAG 单独表面置换的比较研究。J 激光健康协会;2011 (1):S01–S02。
17. Marini L(2011)序列光热 1064 nm Nd:YAG 和 2940nm Er:YAG 点阵嫩肤和重塑与 2940nm 单独重塑的比较组织学研究 ;J 激光健康协会 ;2011 (1):S03–S04

18. Bevec T, Lukac M(2011) 评论:点阵 FRAC3®和 TwinLight™皮肤激光治疗;J 激光健康协会;2011 (1):43–48。
19. Strickland M(2017) 治疗妊娠纹和腹部皮肤紧缩 J. LAHA, 2017(1): p. CB03。
20. Kozarev J(2016) 少数民族的激光皮肤年轻化研究。J 激光健康学报 2016(1):p. S08。
21. Lukac M, Kukovic J, Zorman Bajd F (2018) TightSculpting®:一个完整的微创身体塑形解决方案;第二部分:利用光子晶体技术进行紧固;J LA&HA – J 激光医疗专科;2018 (1)。
22. Lukac M, Kukovic J, Tasic Muc B, Lukac N, Milanic M(2018) TightSculpting®:一个完整的微创身体塑形解决方案;第一部分:PIANO 塑形技术;J 激光健康协会;2018 (1)。
23. FotonaSmooth®, TightSculpting®和 PIANO®的注册商标 Fotona d. o. o.
24. Lukac M Ph. D., Sult T, Sult R (2007) VSP Erbium YAG 美学激光器的新选择和治疗策略;激光与健康协会 2007(1):1–9。
25. Drnovsek Olup B, Beltram M, Pizem J (2004) 重复 Er:YAG 激光照射人体皮肤:组织学评价。激光在外科医学 35:146–151。
26. J . 皮肤剥脱深度对 Er:YAG 激光通量的依赖, J LA&HA, J 激光与健康协会. 2014(1): 7–13
27. Ebrahim HM, Gharib K(2018) 使用口腔内非剥脱 Er:YAG 激光矫正鼻唇沟皱纹。J. 科斯梅特激光器;DOI: 10.1080 / 14764172.2018.1439964
28. Vizintin Z, Lukac M, Kazic M, Tettamanti M(2015)妇科 Erbium 激光, 更年期 18(1):4–8。
29. fstonic, I. Fistonic, S Findri Gustek, I. Sorta Bilajac Turina, D. Franic, Z. Vizintin, M. Kazic, I. Hreljac, T. vec, M. Lukac(2016) 微创、非剥脱 Er:YAG 激光治疗女性应激性尿失禁的初步研究。激光医学科学 31:635–643
30. Storchi IF, Parker S, Bovis F, Benedicenti S, Amaroli A(2018) 门诊 erbium:YAG (2940 nm) 激光治疗打鼾:40 例前瞻性研究。激光医学科学, 出版 2018 年 1 月 15 日上线。
31. Lukac 等(2018) 医用激光程序变热冲击响应模型, 提交《激光医学科学》发表。
32. Lukac M, Gaspar A, Bajd F (2018) 双重组织重构:未剥脱重修的软组织的 FotonaSmooth®模式 Er:YAG 激光;J 激光与健康协会 2018(1):在线首发。
33. Majaron B, Srinivas SM, Huang HL, Nelson JS(2000) 重复 Er:YAG 激光照射真皮胶原深度凝固。激光手术, 医学, 26:215–222
34. Majaron B, Kelly KM, Park HB (2001) Er:YAG 激光皮肤表面复层使用长脉冲重复曝光和低温喷雾冷却 :I. 手术和医学中的组织学研究 激光 28:121–130
35. Majaron B, Verkruyse W, Nelson S (2001) Er:YAG 激光皮肤表层重复长脉冲曝光和低温喷雾冷却:理论分析。手术中的激光和医学 28:131 – 137
36. Majaron B, Plestenjak P, Lukac M (1999), 热机械激光剥脱软组织:微爆炸的建模。达成。理论物理。69 年, 71 – 80。
37. Defrin R 等(2006) 热痛阈和热痛阈的体感定量检测:身体区域和检测方法的影响;Clin J 疼痛 22(2):130–136。
38. Yarnitsky D, Sprecher E, Zaslansky R, Hemli JA (1995)。热痛阈-标准数据和可重复性。疼痛 1995;60 (3):329 – 332。
39. Defrin R 等(2002) 疼痛的感觉决定因素;大脑 125:501 – 501。
40. Arendt-Nielsen L, Chen CAN(2003) 利用激光和其他热刺激物质激活人体皮肤痛觉感受器。Neurophysiol 中国;33(6):259 – 268。

本激光与健康协会出版物的目的是促进在医学激光社区内就观点、研究结果和临床经验交换信息。本出版物的内容由作者自行负责，在任何情况下不得被医疗设备制造商视为官方产品信息。如有疑问，请向制造商查询某一特定产品或申请是否已获批准或获准在贵国销售。

米歇尔·斯图里克兰，RN是杰克逊维尔本地人。她于1992年从护士学校毕业，并开始在浸信会医疗中心担任急诊室护士。1996年，她转到劳工和交付。2002年，她开始进行激光脱毛治疗。斯图里克兰女士专注于注射剂和激光治疗，并与患有细纹和皱纹、静脉、皮肤松弛、阳光伤害或多余毛发的患者制定治疗计划。

治疗妊娠纹和腹部皮肤收紧

米歇尔·斯图里克兰，RN

参数（治疗1-5；每2-3周）：

激光光源	Nd: YAG, 1064nm	Er: YAG, 2940nm	Er: YAG, 2940nm
手机	L-Runner	PS03	FS01
通量	1.2 W / cm ²	5 J / cm ²	48 J
脉冲持续时间	PIANO	SMOOTH	XLP, Turbo 3
现货尺寸	76毫米x 84毫米	7毫米	
频率		3.3赫兹	



临床公报

J. LAHA, Vol. 2017年, 第1名; 页。 CB03。

参数（治疗6-8；每2-3周）：

激光光源	Nd: YAG, 1064nm	Er: YAG, 2940nm	Er: YAG, 2940nm
手机	L-Runner	PS03	FS01
通量	1.2 W / cm ²	6.6 J / cm ²	36 J
脉冲持续时间	PIANO	SMOOTH	MSP, Turbo 3
现货尺寸	76毫米x 84毫米	5毫米	
频率		15赫兹	

治疗程序：

患者为31岁女性，G4P3（妊娠4，胎次3），双胞胎分娩后8个月。患者抱怨皮肤松弛和皮纹，并希望改善它。在治疗之前，施用局部麻醉药膏（20%苯佐卡因，6%利多卡因和4%丁卡因）10-15分钟。作为第一步，使用L-Runner将腹部加热至42摄氏度，持续9分钟。然后使用PS03和FS01进行上述设置，每个手机至少进行2次通过。3次会议后脂肪很少，因此使用了不同的方案。我用L-Runner将加热时间缩短到4分钟，仅用于紧肤。PRP每隔一个会话局部应用。患者很容易忍受该过程而几乎没有不适。推荐的后期护理是局部使用Stratamed和/或Aquaphor三次，直到剥离完成。患者报告红斑和脱皮3-5天。

患者皮肤松弛，皮纹，脂肪减少以及BMI降低均有改善
21.6至19.2。她将每6个月继续治疗，直到达到预期目标。



由激光与健康学院出版。版权所有。
©2017

免责声明：此激光与健康学院出版物的目的是促进医学激光界的观点，研究结果和临床经验的信息交流。本出版物的内容由作者单独承担，在任何情况下都不得被医疗设备制造商视为官方产品信息。如有疑问，请与制造商联系，确认特定产品或应用是否已获批准或在您所在的国家/地区进行销售和销售。



治疗前

治疗后

CB03

ISSN 1855-9913

《激光与健康学会杂志》
2015卷第1期; www.laserandhealth.com

病例报告：Er:YAG 联合Nd:YAG 激光无创身体塑形治疗

Adrian Gaspar
Prima Piel美容抗衰妇科门诊，门多萨市，阿根廷

摘要

尽管激光溶脂术被描述成一种“午餐治疗”，但其因造成手术切口、使用麻醉、术后可能出现皮肤紧实度下降、皮肤不能适应缩小的体型等风险，被归类为一种外科手术。笔者目的为研发一种可替代激光溶脂术的疗法，能安全有效地解决治疗部位体脂过剩和皮肤表面外观问题。本疗法基于应用2940 nm Er:YAG激光热脉冲受控加热皮肤表层引起胶原蛋白重构，联合1064 nm Nd:YAG激光超长脉冲深层、整体加热皮肤，通过加热可收缩的结缔组织达到减轻肥胖和身体塑形的目的。该方法后来被发展成为TightSculpting™（身体微雕术），被证实是一种无创、安全、舒适、持久的身体雕塑疗法。

关键词：身体塑形、Er:YAG激光、Nd:YAG激光、无创减脂、紧肤

文章：LA&HA, 2015卷第1期：第48-50页
收稿日期：2015年6月1日，录用日期：2015年10月9日

©激光与健康学会 版权所有
于欧洲印刷 www.laserandhealth.com

一、引言

无创身体塑形是医学美容中市场增长最快的一个领域。激光辅助溶脂是一种热门的微创外科手术，被认为比传统吸脂手术更安全、休工期更短。但是除了这些益处，该疗法也造成外科切口、使用麻醉、仍可能出现不良反应，所以仍被认为是一种外科手术。许多患者没有做好准备，也将永远不会考虑任何外科手术，无论手术多么“微创”。因此，无创“脂肪团治疗”的手术和仪器已被应用数年，从局部外用药、口服药、按摩、二氧化碳、压缩和冲击波治疗，到能量仪器包括超声、冷冻溶脂、射频、红外辐射、二极管及激光治疗，不同治疗的作用有明显差异[2-3]。无创热溶脂（non-invasive thermolipolysis）治疗可诱发脂肪细胞坏死、凋亡或刺激正常脂肪分解代谢，将甘油三酯分解成甘油和自由脂肪酸，经正常的肝脏途径代谢[4-7]。此前研究已表明，脂肪细胞暴露在热量时的损伤程度呈指数增长，取决于暴露的温度和时间。热量可导致迟发性血管改变，在细胞暴露于45°C 3分钟后，脂肪细胞的存活能力降低到40%[5]。

笔者的关注点主要在Er:YAG和Nd:YAG激光，这两种激光此前已成功用于粘膜和皮肤的紧致治疗。2940 nm Er:YAG激光非剥脱模式将能量输送到皮肤，对于表层组织受控加热而不发挥剥脱作用，继而诱发胶原重塑，达到提升皮肤或粘膜厚度、弹性和紧实度的目的[8-12]。为了达到深层、整体加热皮肤的效果，可以使用超长PIANO®脉冲模式的1064 nm Nd:YAG激光。这种持续几秒钟的长脉冲模式给表皮留下充足的时间通过热扩散和真皮分担吸收的热量，从而避免表皮受到潜在损伤[13-14]。

本文目的为测试这种联合治疗用于无创身体塑形的安全性和有效性。使用2940 nm Er:YAG激光SMOOTH模式的热脉冲（thermal pulse）收紧皮肤表面，联合长度为数秒的1064 nm Nd:YAG PIANO®脉冲温度高于40°C深层、整体加热皮肤。该疗法意在模仿激光溶脂中获得的相同效果，将组织温度增加到40°C以上。

二、病例

患者因寻求身体局部（如腹部、背部、大腿、胳膊和下颌）紧肤和抽脂来我院就诊。治疗的禁忌症为：妊娠、癫痫、未控制的高血压、心律不齐或心脏病、佩戴心脏起搏器、近期或当前有癌症病史或正在接受化疗、肝/肾疾病、光敏感或免疫抑制疾病。

在治疗区域局部涂抹麻醉软膏30分钟，并在治疗前去除。清晰标记治疗区，并根据需要分成更小区域。激光操作在每个身体部位持续大约15~30分钟，包含2个连贯的步骤，按照以下顺序在每一个提前标记的小区域内实施治疗：

a) 使用Er:YAG 激光热脉冲的浅表皮肤紧致

2940 nm Er:YAG激光（SP Dynamis, Fotona公司）以LP/VLP/XLP模式（脉冲持续时间），使用R04手具（12 mm光斑），能量为1.1~1.3 J/cm²、频率为10 Hz。操作需使用双手，一手作引导，扶稳皮肤确保治疗能到达所有位置，另一手操作激光治疗。由于热渗透的不规律性，应在每一个提前标记的小区域内进行多次治疗，模拟刷擦式（连续）移动，好像在使用激光溶脂套管。

b) 使用Nd:YAG 激光超长脉冲收紧深层皮肤结构、减少脂肪组织

使用1064 nm Nd:YAG激光（SP Dynamis, Fotona公司）以18~21秒的超长脉冲模式（PIANO®脉冲），使用R34手具（20 mm光斑大小）、能量为400 J/cm²。在第二步中使用相同操作手法，在同一区域内连续移动、多次治疗（图1）。

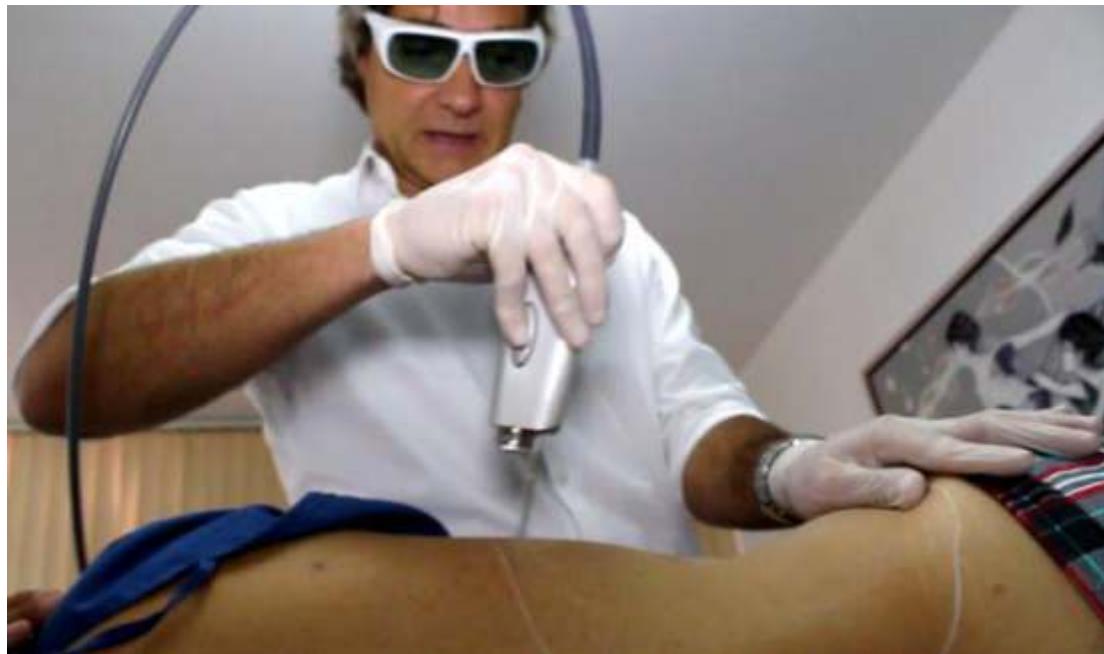


图1：使用Nd:YAG激光PIANO®超长脉冲紧致深层皮肤结构。在同一区域连续移动、多次治疗。

在每一个独立的身体部分（腹部、腰等）完成全部治疗过程后移动至下一部位。最多可进行8次治疗，每次治疗间隔最短为10天。

三、结果及讨论

联合使用热脉冲的Er:YAG与Nd:YAG激光治疗时，结合了表浅皮肤收紧和深层皮肤加热。治疗中产生的热量透过皮肤传送，增加了局部血管形成，加速了组织的化学反应（包括脂肪代谢），收紧了深层结缔组织（网状真皮层、皮肤韧带、筋膜）。此外使用Er:YAG激光热脉冲可改善治疗部位的松弛和外观。使用该联合疗法，笔者获得了即刻、持久的疗效（图2-5）。根据笔者经验，治疗可达到平均缩小腰围7~8cm的效果。此外超声评估也显示了1次治疗后脂肪显著减少（图6）。但是结果存在个体差异，一些患者疗效更佳而另一些患者欠佳。



图2：联合Er:YAG和Nd:YAG激光治疗腰部。治疗前（左图）及1次治疗后即刻（右图）。



图3：联合Er:YAG和Nd:YAG激光治疗腰部，治疗前（左图）及2次治疗后三月（右图）。



图4：Er:YAG联合Nd:YAG激光治疗一例有激光溶脂术病史患者的腹部。1次治疗后（右图）即刻成功破坏了纤维组织区域并改善了皮肤松弛。



图5：Er:YAG联合Nd:YAG激光治疗大腿。治疗前（左图）和8次治疗后（右图）

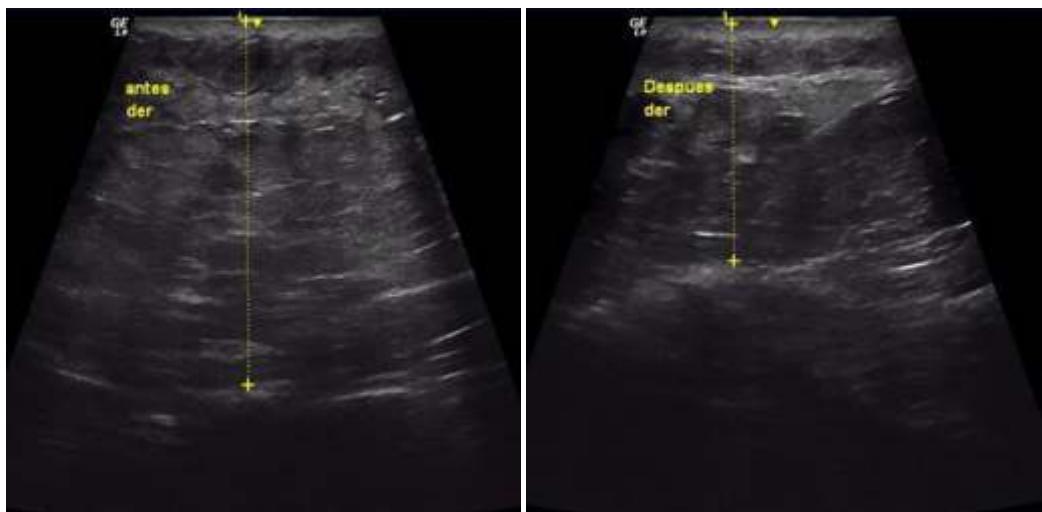


图6：Er:YAG联合Nd:YAG激光治疗前（左图）后（右图）组织的超声评估显示脂肪明显减少。

所有病例治疗后即刻均出现一过性红斑，在治疗后几小时至几天内消失。治疗舒适，无需特殊术后护理，患者治疗后即刻可以恢复日常活动。笔者还推荐几个方法可进一步提升治疗效果。在一些病例中，可以增加针对局部肥胖的激光操作以增强疗效。治疗区域以点状标记，约5cm间隔。在每一个局部区域（点状）使用1064 nm Nd:YAG激光1.1秒超长脉冲模式（PIANO®脉冲）、R33手具（4 mm光斑）、能量为55-65 J/cm²发射约3次激光脉冲。为了进一步提高疗效，可在每次治疗后即刻进行20分钟轻量有氧运动（骑固定自行车或跑步机），然后做淋巴引流，以促进治疗中脂肪酸作为能量来源的分解代谢。如可能，推荐治疗后一个月每日穿着紧身衣12小时。在我们的病例中，本疗法的理想患者BMI在25~30之间。常规、有效的饮食和体育运动可能有助于维持本治疗的效果，但是对于脂肪部位血管形成不佳的脂肪代谢障碍，本疗法是替代激光溶脂的一种安全有效的治疗方法。

四、结论

Er:YAG联合Nd:YAG激光的身体塑形已被证实是一种舒适、安全、有效的治疗，可透过皮肤达到紧肤、减脂的效果。本疗法配合健康的生活方式后来被发展成为TightSculpting™

身体微雕术[15]，成为了代替激光溶脂术的一种非常有效的无创治疗。

参考文献

1. Lukac M, Vizintin Z, Zabkar J, Pirnat S (2009) QCW Pulsed Nd:YAG 1064 nm Laser Lipolysis. *Journal of the Laser and Health Academy*, 4: 1–12.
2. Mulholland RS, Kreindel M (2012) Non-Surgical Body Contouring: Introduction of a New Non-Invasive Device for Long-Term Localized Fat Reduction and Cellulite Improvement Using Controlled, Suction Coupled, Radiofrequency Heating and High Voltage Ultra-Short Electrical Pulses. *Journal of Clinical and Experimental Dermatology Research* 3: 157.
3. Zerini I, Sisti A, Cuomo R, Ciappi S, Russo F, Brandi C, D'Aniello C, Nisi G (2015) Cellulite treatment: a comprehensive literature review. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 14: 224–240.
4. Sadick NS, Mulholland RS (2004) A prospective clinical study to evaluate the efficacy and safety of cellulite treatment using the combination of optical and RF energies for subcutaneous tissue heating. *Journal of cosmetic and laser therapy: official publication of the European Society for Laser Dermatology*, 6: 187–90.
5. Franco W, Kothare A, Ronan SJ, Grekin RC, McCalmont TH (2010) Hyperthermic injury to adipocyte cells by selective heating of subcutaneous fat with a novel radiofrequency device: Feasibility studies. *Lasers in Surgery and Medicine* 42: 361–370.
6. Mulholland RS, Paul MD, Chalfoun C (2011) Noninvasive body contouring with radiofrequency, ultrasound, cryolipolysis, and low-level laser therapy. *Clinics in plastic surgery*, 38: 503–20, vii–iii.
7. Kennedy J, Verne S, Griffith R, Falto-Aizpurua L, Nouri K (2015) Non-invasive subcutaneous fat reduction: a review. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology* 29, 1679–88.
8. Drnovšek-Olup B, Beltram M and Pizem J (2004) Repetitive Er:YAG laser irradiation of human skin: A histological evaluation. *Lasers in Surgery and Medicine* 35: 146–151.
9. Lukac M, Sult T, Sult R (2007) New Options and Treatment Strategies with the VSP Erbium YAG Aesthetics Lasers. *Journal of the Laser and Health Academy* 1: 1–9.
10. Vizintin Z, Rivera M, Fistonić I, Saracoğlu F, Guimares P, Gaviria J, Garcia V, Lukac M, Perhavec T Marini L (2012) Novel Minimally Invasive VSP Er:YAG Laser Treatments in Gynecology, *Journal of the Laser and Health Academy* 1, 46–58.
11. Gaspar A, Gasti GA (2013) Tightening of Facial Skin Using Intraoral 2940 nm Er:YAG SMOOTH Mode, *Journal of the Laser and Health Academy* 2: 17–20.

12. Gambacciani M, Levancini M, Cervigni M (2015) Vaginal erbium laser: the second-generation thermotherapy for the genitourinary syndrome of menopause. Climacteric: the journal of the International Menopause Society 18: 757–63.
13. Lukac M, Vizintin Z, Pirnat S, Nemes K (2011) New Skin Treatment Possibilities with PIANO Mode on an Nd:YAG Laser. Journal of the Laser and Health Academy 1: 22–32.
14. Taylor M (2013) PIANO Mode Nd:YAG Laser Skin Tightening. Clinical Bulletin. Journal of the Laser and Health Academy, 2: B03.
15. TightSculpting is a combined Nd:YAG and and Er:YAG laser body contouring procedure available with Fotona Dynamis aesthetic laser system

激光与健康学会出版本文的意图为促进激光医学界中观点、研究结果、临床经验的信息交流。本文内容由作者负全部责任，在任何情况下都不应将本文视为医疗器械生产商提供的官方产品信息。如有疑问，请与生产商核实某一具体产品或应用是否已在您的国家获批、上市及销售。