

ど)によっても異なるが、アイソメトリックトレーニングは毎日行ったほうが、毎日行わないよりも効果がある (Atha 1981)。最も効果的に最大筋力を向上させるには毎日トレーニングを実施するアイソメトリックプログラムが最適であるが、1週間に3回のトレーニングでも最大筋力は有意に向上する。

筋肥大

トレーニングによる四肢の周径囲の増大は、一般的には筋肥大と関連がある。アイソメトリックトレーニングによる筋力の向上には、四肢の周径囲の増大が伴うと報告されている (Kanehisa and Miyashita 1983a; Kitai and Sale 1989; Meyers 1967; Rarick and Larson 1958)。しかしながら、四肢の周径囲の変化が常に筋力の増加を伴うわけではない (Ward and Fisk 1964)。アイソメトリックトレーニングにおいては、神経系の適応もまた筋力の増加に寄与している。

コンピュータ断層撮影法と磁気共鳴画像法 (MRI) を用いれば、アイソメトリックトレーニングによる筋の横断面積の変化をさらに直接的に測定することができる。アイソメトリックトレーニングを6週間行くと、肘の屈筋の横断面積が5.4%増加し、アイソメトリック筋力が14.6%増加した。それにもかかわらず、筋力増加と横断面積増加の間には有意な相関関係は認められなかった (Davies et al. 1988)。8週間の膝の伸展筋のアイソメトリックトレーニングでは、アイソメトリック筋力が28%増大し、横断面積が14.6%増加した。そして、筋力の増加と筋の横断面積との間には有意な相関関係が示された (Garfinkel and Cafarelli 1992)。12週間のトレーニングでは、膝の伸展筋の横断面積が有意に8%増加し、アイソメトリック筋力は41%増加した (Kubo et al. 2001)。

筋肥大が生じるかどうか、生じるとすればどの程度の筋肥大が生じるかは、以下の研究が示すように、筋によって異なる。最大随意筋活動の100%でのアイソメトリック筋力トレーニングを9週間行ったところ、外側広筋のタイプIとタイプIIの筋線維の直径は変化

しなかった (Lewis et al. 1984)。最大随意筋活動の30%もしくは100%で16週間トレーニングを行ったところ、ヒラメ筋のタイプIとタイプIIの筋線維の面積は約30%増加した (Alway, MacDougall, and Sale, 1989; Alway, Sale, and MacDougall 1990)。しかし、全く同じトレーニングプログラムでも、腓腹筋外側部はタイプIIの筋線維面積のみが30~40%増加した (Alway, MacDougall, and Sale, 1989; Alway, Sale, and MacDougall 1990)。

いくつかのデータでは、筋の活動時間が長いトレーニングでは、筋の活動時間が短いトレーニングよりも横断面積の増加が大きいと報告されている (Schott, McCully, and Rutherford 1995)。30秒間のトレーニングを4回行うトレーニングと、3秒間のトレーニングを10レップ×4セット行うトレーニングの前後に、筋横断面積 (コンピュータ断層撮影法) をそれぞれ測定した。これら2つのグループにおけるアイソメトリック筋活動の合計時間は同じだが (トレーニングあたり120秒間)、筋活動時間の短いグループでは大腿四頭筋の横断面積の増加は有意ではなかった (4~7%)。しかし、筋活動時間の長いグループでは有意に増加した (10~11%)。より長時間のアイソメトリック筋活動による血流閉塞とそれに伴う筋内代謝産物濃度の上昇は、アイソメトリック筋力の増大と同様に、筋横断面積の増加に作用するのであろう。

もう1つの研究は、60% MVMAのトレーニングよりも100% MVMAでのトレーニングのほうが、より大きな筋肥大を引き起こすと報告している (Kanehisa et al. 2002)。この研究では最大随意筋活動の100%で筋活動を6秒間×12回行うトレーニングと、最大随意筋活動の60%で筋活動を30秒間×4回行うトレーニングを10週間行い、MRIを用いて筋の大きさの変化を測定している。これらの結果を総合すると、筋肥大はアイソメトリック筋活動の時間と強度 (トレーニングで用いられる最大随意筋活動に対するパーセンテージ) の両者に依存していることがわかる。

最大随意筋活動の40%の強度でアイソメトリック筋活動を疲労するまで (約27分間) 行くと、ヒラメ

筋の筋タンパク合成が有意に49%増加した (Fowles et al. 2000)。この結果は、アイソメトリック筋活動が筋肥大を引き起こす効果を示している。以上の結果をまとめると、タイプIとタイプIIの筋線維の肥大はいずれも、最大下および最大でのアイソメトリック筋活動によって生じることが示された。筋力の増加については、神経系の適応による要因も考えられる (第3章を参照)。アイソメトリックトレーニングによって筋肥大と神経系の適応が生じ、これら両者が筋力の増加をもたらすのであろう。

関節角度特異性

筋力とはくくに、アイソメトリックトレーニングを行った際の関節角度もしくはそれに近い角度で増加する。これを関節角度特異性という。筋力の増加に対して関節角度の特異性は示されなかったという報告 (Knapik, Mawdsley, and Ramos 1983; Rasch and Pierson 1964; Rasch, Preston, and Logan 1961) もあるが、ほとんどの研究がアイソメトリックトレーニングによる静的筋力の増加は関節角度に特異的であると報告している (Bender and Kaplan 1963; Gardner 1963; Kitai and Sale 1989; Lindh 1979; Meyers 1967; Thepaut-Mathieu, Van Hoeke, and Martin 1988; Weir, Housh, and Weir 1994; Weir et al. 1995; Williams and Stutzman 1959)。トレーニングの対象となる筋群やトレーニングを行うときの関節角度、アイソメトリック筋活動の強度と時間など、多くの要因が関節角度特異性の生じる程度に影響するであろう。関節角度特異性が生じる一般的な理由は、トレーニングした角度で筋線維の動員が増加することや、トレーニングした角度で拮抗筋の抑制が生じることなど神経系によるものである。

関節角度90°で行った肘の屈筋群のアイソメトリックトレーニングにより、肘関節角度90°でのアイソメトリック最大随意筋活動が増加した (Knapik, Mawdsley, and Ramos 1983)。しかし、トレーニングした角度の前後20°でも、わずかではあるが有意に筋

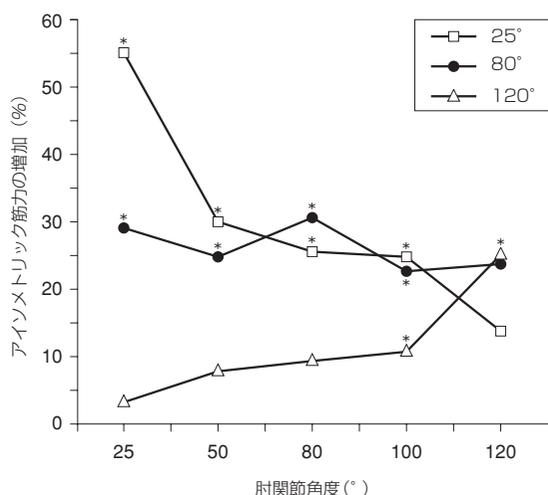


図2.2 異なる肘節角度でのアイソメトリックトレーニングによる肘屈筋群のアイソメトリック筋力の増加率
* = 有意な増加 ($p < 0.05$)

C. Thepaut-Mathieu et al., (1988) より。

力が向上した。肘関節角度80°で肘の屈筋群のトレーニングを行うと、肘関節角度の広い範囲でトレーニング効果の転移がみられたが、肘関節角度25°もしくは120°でのトレーニングでは、ほかの関節角度でほとんど筋力の増加がみられなかった (Thepaut-Mathieu, Van Hoeke, and Martin 1988、図2.2を参照)。足関節角度90°で底屈のアイソメトリックトレーニングを行ったところ、トレーニング角度90°およびその前後わずか5°に有意な筋力の向上の転移が生じた (Kitai and Sale 1989)。膝関節角度135°で膝の伸展筋群のトレーニングを行うと、トレーニング角度の前後30°で筋力向上の転移が起こり (Weir, Housh, and Weir 1994; Weir et al. 1995)、膝関節角度65°のトレーニングによって膝関節角度55°と75°で筋力が有意に向上した (Maffiuletti and Martin 2001)。

関節角度特異性 (図2.2を参照) は筋が短縮した状態 (角度25°) でトレーニングを行ったときに顕著になり、筋が伸張した状態 (角度120°) でトレーニングを行ったときは、特異性の程度はさほど顕著ではない (Gardner 1963; Thepaut-Mathieu, Van Hoeke, and Martin 1988)。関節可動域の中間でトレーニングを行うと (80°)、可動域の広い範囲で関節角度特異性が起こるようである (Kitai and Sale 1989; Knapik,